

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA STROJNÍ

# **Bakalářská práce**

**Vliv tlaku, teploty formy a tepelného zatížení  
výstřiku na jeho smrštění**

**2008**

**Antonín Krmaš**

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Strojírenská technologie  
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů

### **Vliv talku, teploty formy a tepelného zatížení výstřiku na jeho smrštění**

### **Influence of talc, temperature of form and heat load of ejaculation to its shrinkage**

Antonín Krmaš  
KSP – TP – B41

Vedoucí bakalářské práce:  
Konzultant bakalářské práce:

Ing. Luboš Běhálek  
doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld

#### **Rozsah práce a příloh:**

Počet stran:	60
Počet obrázků:	35
Počet tabulek:	20
Počet příloh:	0

Datum: 4.1.2008



## **ANOTACE**

### **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta strojní**

#### **Katedra strojírenské technologie Oddělení tváření kovů a plastů**

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Bakalář: Antonín Krmaš

Téma práce: Vliv talku, teploty formy a tepelného zatížení výstřiku na jeho smrštění  
Influence of talc, temperature of form and heat load of ejaculation to its shrinkage

Číslo BP: KST – TP – B41

Vedoucí BP: Ing. Luboš Běhálek

Konzultant: doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld

#### **Abstrakt:**

Bakalářská práce se zabývá problematikou vlivu talku, teploty formy a tepelného zatížení výstřiku z PP na jeho smrštění. Zaměřuje se na rozměrové změny výstřiku zkušebních těles z Exxtral HMU 234 a ExxonMobil™ 1044 L1.

Závěry bakalářské práce poskytují informace o výrobním a dodatečném smrštění obou materiálů.

#### **Abstract:**

This bachelor work is concerned with the issue of talc influence, temperature of form and heat load of ejaculation from PP to its shrinkage. This work is targeted the proportional changes of experimental organs ejaculation from Exxtral HMU 234 a ExxonMobil™ 1044 L1.

The consequences of baccalaureate work offer an information about production and additional shrinkage of both materials.



## **Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 4.1.2008

.....

Antonín Krmaš  
Velké Poříčí  
549 32, Náchodská 360



## **Poděkování:**

Chtěl bych tímto poděkovat všem, kteří mi poskytovali cenné rady a připomínky při vypracování mé bakalářské práce. Rodičům děkuji za trpělivost a za podporu během celého mého bakalářského studia. Dále bych chtěl poděkovat katedře KSP a zejména vedoucímu doc. Dr. Ing. Petru Lenfeldovi. Zvláštní dík patří Ing. Luboši Běhálkovi za dohled nad bakalářskou prací a vždy laskavou trpělivou pomoc a vstřícné jednání.



## OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	9
1. ÚVOD.....	11
2. TEORETICKÁ ČÁST.....	13
2.1 Termoplastické materiály.....	13
2.2 Polypropylen.....	14
2.3 Talk.....	17
2.3.1 Charakteristika talku.....	17
2.3.2 Vznik talku.....	19
2.3.3 Použití talku.....	21
2.4 Vstřikování termoplastů .....	23
2.4.1 Vstřikovací cyklus.....	25
2.5 Technický popis hlavní části vstřikovacího stroje.....	27
2.6 Smrštění výstřiku z termoplastů.....	28
2.6.1 Hodnocení velikosti smrštění.....	31
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	33
3.1 Charakteristika zkoušených materiálů.....	33
3.2 Výroba zkušebních těles.....	34
3.2.1 Vstřikovací stroj a nástroj.....	34
3.2.2 Technologické podmínky.....	36
3.3 Stanovení smrštění výstřiku.....	37
3.3.1 Výrobní smrštění.....	38
3.3.2 Dodatečné smrštění.....	39
3.3.3 Smrštění po temperaci.....	39
3.4 Naměřené hodnoty podélného smrštění pro destičky o tloušťce 3 mm .....	40
3.4.1 Teplota vstřikovací formy 20°C.....	41
3.4.2 Teplota vstřikovací formy 30°C.....	42
3.4.3 Teplota vstřikovací formy 40°C.....	43
3.4.4 Teplota vstřikovací formy 50°C.....	44
3.4.5 Teplota vstřikovací formy 60°C.....	45
3.5 Naměřené hodnoty příčného smrštění pro destičky o tloušťce 3 mm.....	45
3.5.1 Teplota vstřikovací formy 20°C... ..	46
3.5.2 Teplota vstřikovací formy 30°C.....	47
3.5.3 Teplota vstřikovací formy 40°C.....	48
3.5.4 Teplota vstřikovací formy 50°C.....	49
3.5.5 Teplota vstřikovací formy 60°C.....	50
4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....	51
4.1 Vyhodnocení vlivu teploty formy na smrštění PP.....	51
4.2 Vyhodnocení vlivu teploty formy na smrštění PP20T.....	53



4.3 Porovnání obou zkoušených materiálů.....	55
5. <b>ZÁVĚR</b> .....	58
6. <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	60



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	hustota
$Q_v$	[cm <sup>3</sup> ]	vstřikovací kapacita stroje
$Q_p$	[kg/hod]	plastikační kapacita stroje
$F_u$	[N]	uzavírací síla
$F_p$	[N]	přisouvací síla
$p$	[MPa]	tlak
$p_i$	[MPa]	tlak v dutině formy
$p_H$	[MPa]	hydrostatický tlak
$p_v$	[MPa]	vstřikovací tlak
$p_Z$	[MPa]	zbytkový tlak
$v$	[m <sup>3</sup> /kg]	měrný objem
$T$	[°C]	teplota
$T_{tm}$	[°C]	teplota temperačního média
$T_m$	[°C]	teplota tání semikrystalických polymerů
$T_g$	[°C]	teplota skleného přechodu
$T_F$	[°C]	teplota formy
$\alpha$	[K <sup>-1</sup> ]	součinitel teplotní roztažnosti
$h$	[mm]	tloušťka výstřiku
$t$	[s]	čas
$t_{s1}$	[s]	doba uzavření vstřikovací formy
$t_{s2}$	[s]	doba přisunutí tavící komory k formě
$t_{s3}$	[s]	doba otevření vstřikovací formy
$t_v$	[s]	doba vstřikování
$t_{ch}$	[s]	doba chlazení
$t_d$	[s]	doba dotlaku
$t_{pl}$	[s]	doba plastikace
$t_m$	[s]	doba manipulace
$t_c$	[s]	celková doba vstřikování
$s_K$	[mm]	pohyb šneku
$s_N$	[mm]	pohyb nástroje
$S_M$	[%]	výrobní smrštění
$S_{Mp}$	[%]	výrobní smrštění v příčném směru
$S_{Mn}$	[%]	výrobní smrštění v podélném směru
$S_P$	[%]	dodatečné smrštění





$S_{pp}$	[%]	dodatečné smrštění v příčném směru
$S_{pn}$	[%]	dodatečné smrštění v podélném směru
Si		křemík
C		uhlík
O		kyslík
H		vodík
Mg		hořčík
$Al_2O_3$		oxid hlinitý
$SiO_2$		oxid křemičitý
$CaCO_2$		uhličitan vápenatý
CaO		oxid vápenatý
$H_2O$		voda
$Fe_2O_3$		oxid železitý
PP 20T		polypropylen plněný 20% talku
PE		polyethylen
ABS		akrylonitril-butadien-styrén
PA		polyamid
PP		polypropylen
PS		polystyren
PVC		polyvinylchlorid
PEI		polyeterimid
PES		polyester
PPS		polyfenylensulfid
PA 610		alifatický polyamid
PA6		polyamid 6 – poly (6-hexanlaktam)

## **1 ÚVOD /1/, /2/, /3/**

Mezi moderní konstrukční materiály se řadí také plasty, které jsou důležitým konstrukčním materiálem 20. i 21. století a nabývají stále více na významu. I když příprava prvních druhů plastů založených na chemické úpravě přírodních surovin, jako např. celulozy a kaseinu spadá ještě do 19. století, rozhodujícího významu nabyly plasty vyráběné zcela synteticky chemickou cestou. Naprostá většina plastů se spotřebovává na technické účely. Velkým spotřebitelem je výroba obalů a stavební průmysl (viz obr. 1.1). Příčiny rychlého zvyšování spotřeby i výroby plastů je nutno hledat ve vlastnostech těchto materiálů, kterými často předčí materiály klasické, tj. kovy, keramiku, sklo či dřevo. K hlavním přednostem plastů patří jejich výborná zpracovatelnost. Zpracovávají se mnoha způsoby tváření na finální výrobky (nárazníky automobilů, kryty vysavačů, přepravky na ovoce atd.) nebo polotovary jako například desky, profily, trubky, folie, které se mohou dále tvarovat, svařovat, lepit, obrábět atd. Z celospolečenského hlediska je důležité, že jak na vlastní výrobu plastů, tak i na jejich zpracování je nutno vynaložit mnohem méně energie i práce než u kovů.

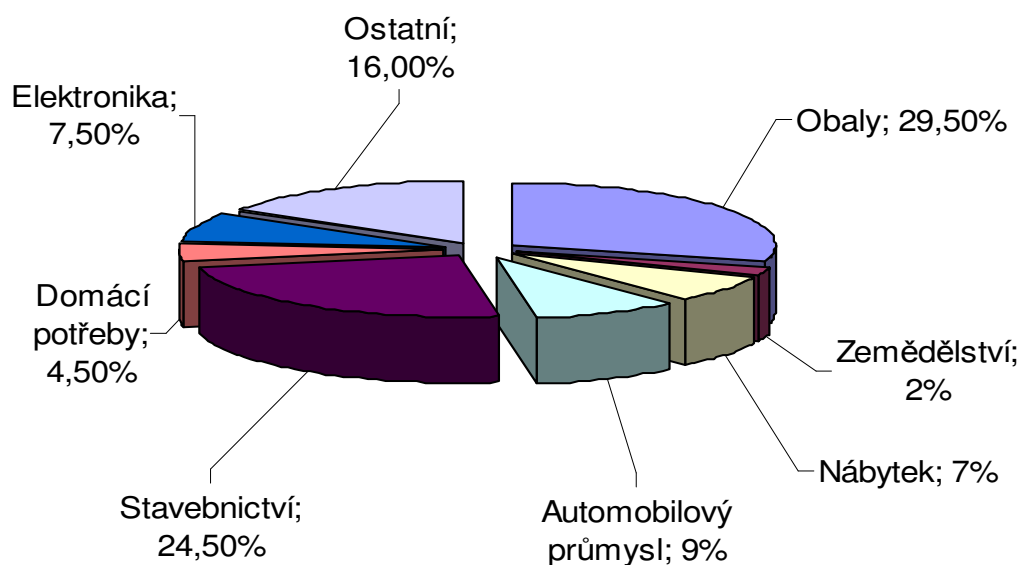
Úspěšné aplikace plastů na konstrukční díly souvisí nejen se správnou volbou materiálu, aditivními prvky, ale také s konstrukcí formy (vtokového, temperačního i vyhazovacího systému), volbou a nastavením technologických parametrů, jako je tlak a dotlak, teplota taveniny, teplota formy, rychlost plnění dutiny formy, doba chlazení atd.

Polypropylen, jako jeden z nejpožívanějších plastů, se často plní nejen barvivý, ale také minerálními plnivý (např. talkem), skelnými vlákny, apod. Talk, jakožto nukleační činidlo usnadňuje počátek krystalizace, zvyšuje počet krystalizačních center a zjemňuje krystalickou strukturu semikrystalického polypropylenu, snižuje tažnost, zlepšuje pevnost, rozměrovou a tvarovou přesnost výstřiku v důsledku nižší, kontrolovatelné hodnoty smrštění výstřiku.

Výrobní, ale i dodatečné smrštění je důležitým technologickým údajem ovlivňující kvalitu vyráběného dílce, jež je závislý na mnoha faktorech: druhu plastu (především jeho nadmolekulární struktury), konstrukci výrobku i formy a v neposlední řadě na technologických podmínkách výroby.

Cílem bakalářské práce, jež vznikla na základě spolupráce katedry strojírenské technologie TU v Liberci s firmou Valeo Autoklimatizace Rakovník, je

zhodnotit vliv teploty temperace formy v procesu vstřikování a tepelného zatížení výstřiku (s ohledem na jejich aplikaci v klimatizačních jednotkách) vstřikovaných z polypropylenu plněného talkem (Exxtral HMU 234) a bez talku (ExxonMobil<sup>TM</sup> 1044 L1) na jejich výrobní a dodatečné smrštění.



Obr. 1.1 Světová spotřeba plastu dle použití /3/



## 2 TEORETICKÁ ČÁST

Vzhledem k tématu bakalářské práce, jež řeší problematiku výrobního a dodatečného smrštění, včetně dodatečného smrštění po temperaci (resp. tepelné zátěži výstřiku) u polypropylenu s talkem i bez talku, je rešerše v teoretické části bakalářské práce zaměřena na charakteristiku polypropylenu, talku i způsobu výroby vstřikováním, včetně metodiky hodnocení smrštění výstřiků.

### 2.1 Termoplastické materiály /1/, /4/, /5/

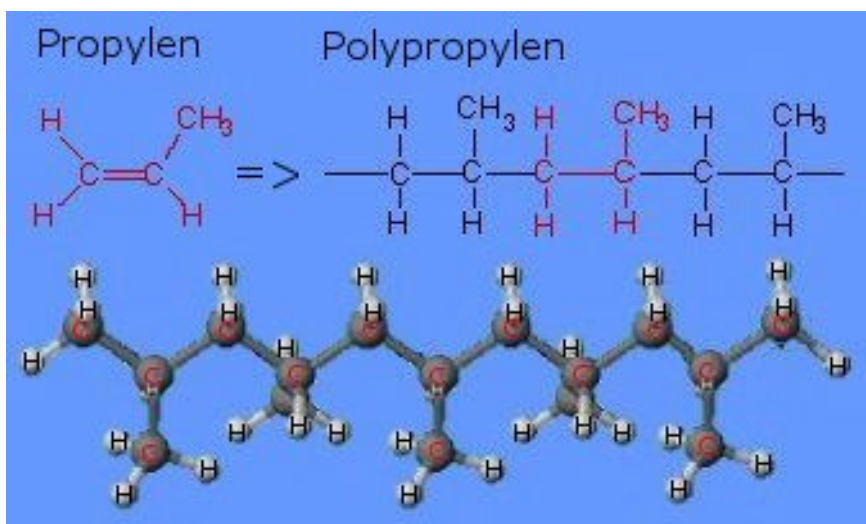
Termoplasty, z hlediska nadmolekulární struktury amorfní i semikrystalické, přecházejí zahříváním do plastického stavu, ve kterém je možné je tlakem tvářet do požadovaných tvarů. Po ochlazení pod určitou teplotu opět získávají své původní vlastnosti. To znamená, že zahřívání ovlivňuje pouze jejich fyzikální vlastnosti, chemická podstata látek zůstává stejná. Z tohoto důvodu je možné u těchto látek opakovat plastikaci a následné tuhnutí teoreticky do nekonečna. Ve skutečnosti však i u těchto látek dochází vlivem mechanického působení, času a teploty k teplotní degradaci.

Tab. 2.1 Teploty tání, zpracování a formy pro vybrané termoplasty /5/

	T E R M O P L A S T Y									
	S E M I K R I S T L I C K É					A M O R F N Í				
	PEI	ABS	PS	PES	PVC	PE	PP	PPS	PA610	PA6
Teplota tání [°C]	215	110	100	230	100	140	165	290	215	220
Teplota zpracování [°C]	370	250	225	350	195	250	255	330	250	250
Teplota formy [°C]	100	75	45	150	35	25	40	110	90	90

## 2.2 Polypropylen /4/, /6/, /7/, /8/

Polypropylen (viz obr. 2.1) je neobyčejně zajímavý materiál a to jak z průmyslového tak z vědeckého hlediska. Obecně lze řadit mezi plasty pro široké použití (tzv. komoditní plasty) s příznivým poměrem mezi užitnými vlastnostmi (fyzikálními, mechanickými, tepelnými, aj.) a cenou. Některé jeho modifikace a aplikace jej však řadí mezi konstrukční materiály, které nabízejí mnohem lepší užitné vlastnosti, především vyšší teplotní odolnost, tuhost a pevnost.



Obr. 2.1 Model polypropylenu /7/

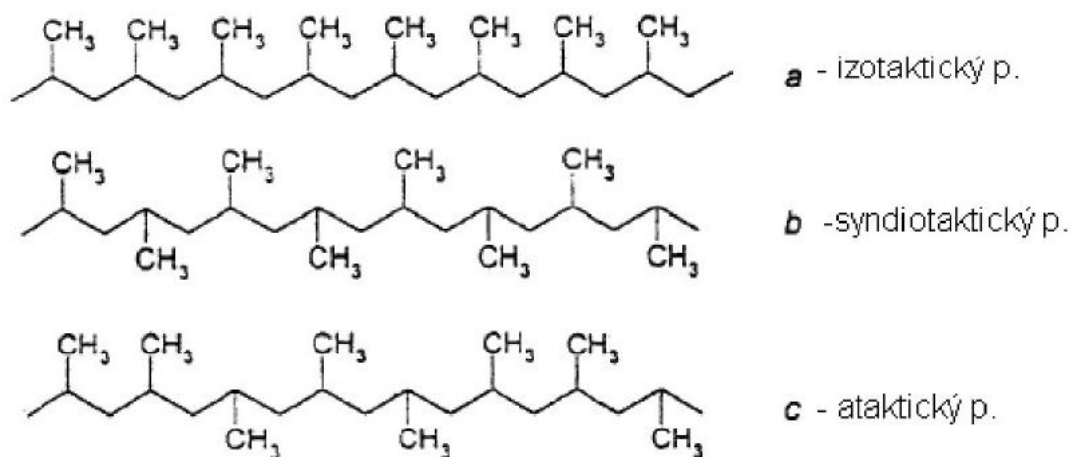
Polypropylen se zpracovává vstřikováním, vyfukováním na duté předměty, vytlačováním na trubky, desky, profily a vytlačovacím vyfukováním na folie. Desky a bloky lze také lisovat z granulí. Vzhledem k jeho dobrým mechanickým vlastnostem a schopnosti modifikace s přísadami se aplikuje na součásti strojů a přístrojů, např. v automobilovém a spotřebním průmyslu (vstřikované dílce přístrojových desek a ventilátorů, nárazníky a součásti kuchyňských přístrojů). Odolnost vůči sterilizačním teplotám umožňuje jeho použití na dílce injekčních stříkaček a jiné zdravotnické techniky. Polypropylen se také široce využívá k výrobě mechanicky i chemicky odolných vláken. Nové modifikace a aplikace polymerních směsí, kompozitů s polypropylenovou matricí jsou příčinou neustálého růstu zájmu o polypropylen. Polypropylen, materiál s úspěšnou více jak čtyřicetiletou historií, se tak znovu vrací mezi aktuální polymery v průmyslové výrobě, ale i v laboratořích základního nebo aplikovaného výzkumu.

Z hlediska molekulární struktury jsou možné tři odlišné typy polypropylenů lišící se svými vlastnostmi (viz tab. 2.2): izotaktický, syndiotaktický a ataktický. U

prvního, izotaktického typu (viz obr. 2.3a) jsou postranní methylové skupiny umístěny vždy na jedné straně hlavního polymerního řetězce, pokud si jej představíme v idealizované natažené podobě, zatímco v syndiotaktického polypropylenu (viz obr. 2.3b) se postranní methylové skupiny pravidelně střídají po obou jeho stranách. Třetí, ataktický polypropylen (viz obr. 2.3c) má zcela náhodnou statistickou molekulární strukturu.

Tab. 2.2 Porovnání vlastností jednotlivých stereoizomerů polypropylénu /7/

Vlastnosti	Jednotka	Izotaktický PP	Syndiotaktický PP	Ataktický PP
Hustota	g/cm <sup>3</sup>	0,905 – 0,920	0,890 – 0,910	0,850 – 0,900
Teplota tání krystalitů	°C	165	135	nemá
Mez kluzu	MPa	vysoká	střední	velmi nízká
Rozpustnost v uhlovodících při 20°C		nerozpouští se	středně	snadno se rozpouští



Obr. 2.2 Schéma větví stereoizomerů polypropylén /7/

Ataktický produkt měkkého parafinického až blátivého charakteru lze získat jen nízkomolekulární radikálovou nebo kationtovou polymerací propylenu. Až v roce 1954 bylo zjištěno, že v přítomnosti katalyzátorů Zieglerova typu vzniká z monomeru vysokomolekulární, vysoce krystalický izotaktický polypropylen. Dnešní výroba polypropylenu se podobá výrobě polyethylenu nízkotlakým

způsobem. Výtěžek izotaktického polypropylenu je vždy větší než 90%, pro zvláknování se však požaduje tzv. index izotakticity vyšší než 95%. Ataktický podíl, zhoršující mechanické vlastnosti polypropylenu, se vypírá alifatickými uhlovodíky, např. hexanem. Stereoregularita PP se zpravidla určuje na základě nerozpustnosti izotaktického polypropylenu ve vroucím heptanu. Ataktický PP a stereoblokový PP (s ataktickými a izotaktickými segmenty řetězce) jsou totiž ve vroucím heptanu rozpustné. Podíl polypropylenu nerozpustný ve vroucím heptanu se označuje jako index izotakticity a udává se v hmotnostních %. Musí se však vzít v úvahu, že i nízkomolekulární izotaktický polypropylen je ve vroucím heptanu rozpustný.

Výroba stereospecifického PP je podobná tedy výrobě polyethylenu Zieglerovým postupem a probíhá rovněž mechanismem polyinzerce. Zásadní rozdíl obou výrob je v tom, že při polymeraci propylenu vzniká vždy určité množství ataktického podílu. Jeho množství ovlivňuje použitý heterogenní katalyzátor, rozpouštědlo i podmínky polymerace. Vzhledem k tomu, že ataktické podíly jsou měkké, parafínového až blátivého charakteru, je žádoucí co nejvíce snížit množství ataktického podílu. Jak již bylo uvedeno pro většinu výrobků se požaduje index izotakticity vyšší než 90%. Ataktický podíl snižuje teplotu tání, zhoršuje mechanické vlastnosti i odolnost proti rozpouštědlům, zlepšuje ovšem rázovou houževnatost.

Polypropylen spolu s polyethylenem patří do skupiny polyolefinů, jež vznikají polymerací oleyfických uhlovodíků. Vzhledem ke stupni krystalinity dosahující 60% až 75% je neprůhledný. Teplota tání čistého izotaktického polypropylenu je asi 176°C, obchodních produktů v rozmezí od 160°C do 170°C. Kromě vyšší teploty měknutí a tím i použitelnosti při vyšších teplotách se polypropylen liší od lineárního polyethylenu nižší hustotou, menší odolností vůči mrazu, oxidaci a povětrnosti, ale na druhé straně větší pevností, tvrdostí a odolností vůči otěru. Je také méně propustný pro plyny a páry. Odolnost polypropylenu vůči chemikáliím (polárním rozpouštědlům, kyselinám a zásadám) je ve srovnání s polyethylenem rovněž větší, zvláště při zvýšených teplotách. Podobně jako PE se však rozpouští při teplotách nad 80°C v aromatických a chlorovaných uhlovodících. Minerální a rostlinné oleje absorbuje polypropylen jen nepatrně beze změny mechanických vlastností. Vlastnosti polypropylenu závisí na jeho izotakticitě, molekulové hmotnosti a stupni polydisperzity, ale také na molekulární, nadmolekulární a makroskopické struktuře, teplotě, času, apod. Modifikace

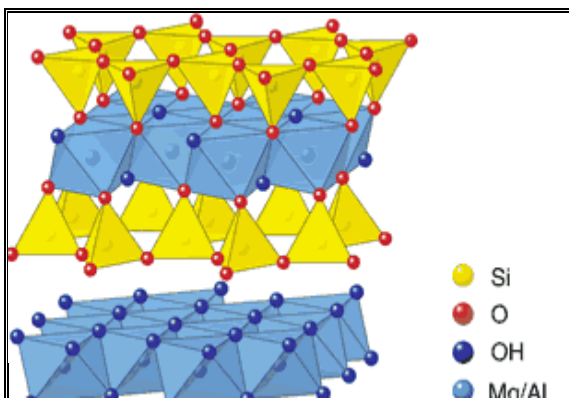
vlastností polypropylenu je výhodně dosahováno pomocí aditivních prvků. K výrobě dílů automobilového průmyslu, s ohledem na dosažení vyššího stupně krystalinity, tj. vyšší tuhosti a pevnosti dílů, ale také s ohledem na kontrolovatelnou hodnotu smrštění je polypropylen velmi často modifikován talkem.

## 2.3 Talk /9/, /10/, /11/, /12/, /13/

### 2.3.1 Charakteristika talku

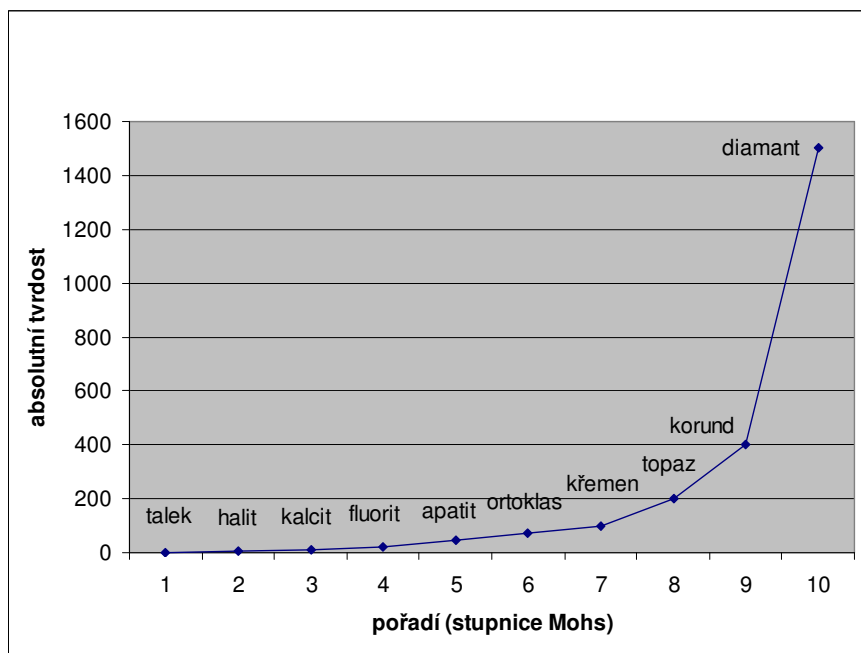
Talek (také mastek nebo steatit) je vodný křemičitan hořečnatý  $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  s chemickou analýzou uvedenou v tab. 2.3. Chemicky čistý talek je velmi vzácný, nejčastěji bývá znečištěn oxidem železitým, oxidem vápenatým a oxidem hlinitým. Rozdíl mezi mastkem a talkem je v krystalické struktuře. Mastek má hutnou zrnitou strukturu a talek má šupinatou strukturu (šupinky podle roviny).

Tab. 2.3 Chemická analýza talku /10/

	<b>Molekulová hmotnost 379,27 gm</b>	
	<b>Hořčík</b>	19,23% Mg      31,72% MgO
	<b>Křemík</b>	29,62% Si      63,52% SiO <sub>2</sub>
	<b>Vodík</b>	0,53% H      4,76% H <sub>2</sub> O
	<b>Kyslík</b>	50,62% O
	<b>suma</b>	100%      100% oxid

Talek, je nejměkčí známý minerál dle stupnice Mohs=1 (viz obr. 2.3), je prakticky ve vodě nerozpustný, stejně tak jako ve slabých kyselinách a alkáliích. Není výbušný ani hořlavý, má velice malou chemickou reaktivitu, je to výborný tepelný a elektrický izolant. Jeho kluznost je dána oddělováním a klouzáním jednotlivých destiček - lamel. Hladké, hydrofobní a vodu odpuzující destičky po sobě kloužou a talku tak dávají specifické kluzné "mastné" vlastnosti (viz tab. 2.4). Komerční typy talků jsou tvrdší díky nečistotám, které obsahují. Barva surového (nezpracovaného) talku je šedá až zelená, růžová a zřídka i bílá (viz obr. 2.4).





Obr. 2.3 Mohsova stupnice tvrdosti /12/



Obr. 2.4 Zelený celistvý agregát talku v mastkové břidlici /12/

Tab. 2.4 Všeobecné poznatky o talku /10/

T a l e k	
Kategorie	minerál
Barva	světle zelená, bílá, šedobílá, žlutobílá, hnědobílá
Vzhled krystalu	lupínkovitý, šupínkovitý
Soustava	jednoklonná
Tvrdost	1
Lesk	masný až perleťový
Štěpnost	dokonale štěpný
Index lomu	1,539 – 1,550
Vryp	bílý
Hustota	2,58 – 2,88 g / cm <sup>3</sup>
rozpustnost	nerozpustný v kyselinách



Talek řadíme do skupiny slíd, s kterými se shoduje dokonalou jednosměrnou štěpností i ostatními jevy soudržnosti, ale liší se od nich tím, že štěpné lupénky talku jsou ohebné, na rozdíl od slíd, které jsou pružné.. Talek se nevyskytuje v krystalech tak dokonalých, aby dovolovaly stanovit jeho morfologické vlastnosti. Talek je velmi dokonale štěpný, velmi jemný (viz tab. 2.5) a na omak mastný. Taví se velmi obtížně a rozkládá se fluorovodíkem.

Tab. 2.5 Mohsova stupnice tvrdosti /12/

pořadí	minerál	absolutní tvrdost	poznámka
1.	talek	1	lze rýpat nehtem
2.	sádrovec, halit	3	
3.	kalcit	9	lze rýpat nožem
4.	fluorit	21	
5.	apatit	48	
6.	ortoklas	72	lze rýpat do skla
7.	křemen	100	
8.	topaz	200	
9.	korund	400	
10.	diamant	1500	

Existuje mnoho typů talku. Název talek nepopisuje různorodost tohoto minerálu v přírodě. Na jedné straně je talek čistý křemičitan hořečnatý, na straně druhé je to obecný výraz pro horniny obsahující více minerálů.

Mastkové rudy se liší podle mineralogického složení - poměrem talku a ostatních minerálů. Nejznámějším, talku příbuzným minerálem, je chlorit. Chlorit (z řeckého Khlôros - zelený) je zastoupen v různých poměrech, strukturou a chemicky je velmi podobný talku, je ale o něco více reaktivní.

### 2.3.2 Vznik talku

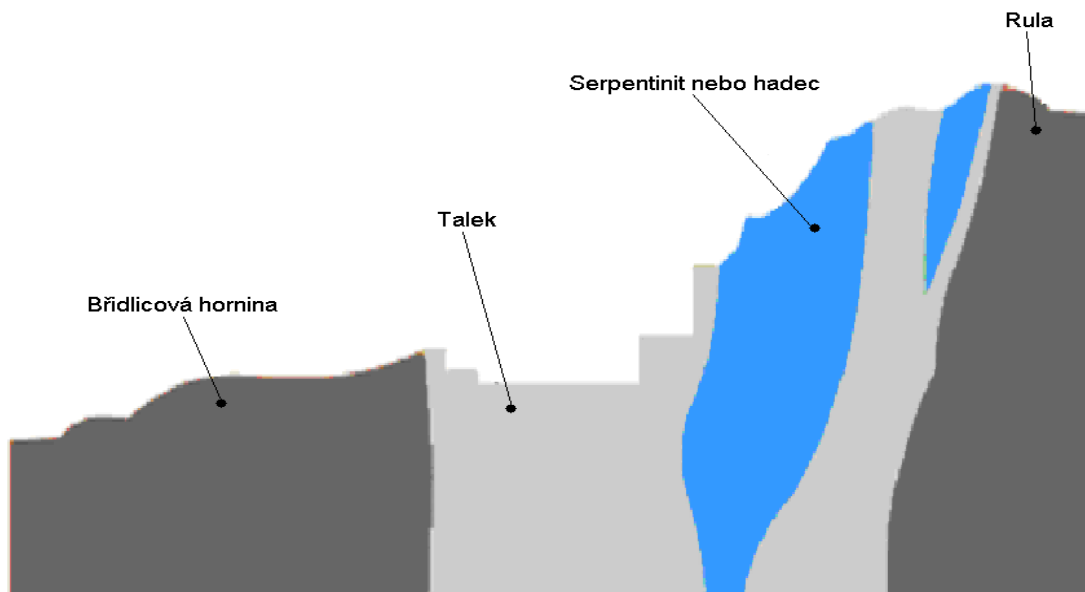
Talek se vyskytuje v Čechách např. u Přísečnice v Krušných Horách, na severní Moravě u Sobotína v Hrubém Jeseníku a v Krkonoších (Velká Úpa). Na Slovensku jsou velká ložiska v okolí Hnúšťa, Kokavy. Ze zahraničních nalezišť

jsou nejznámější Grossgreiner v Tyrolsku, Lobsdorf (Sasko), Turecko, Čína, USA – Gouverneur, Kanada, Rusko a další státy (viz. obr. 2.5).



Obr. 2.5 Příklady výskytu talku /13/

Talek vzniká nejčastěji v okolí hydrotermálních alterovaných ultrabazik, které jsou zastoupeny v serpentinitech a mastkových břidlicích, nebo vzniká v souvislosti s karbonátovými horninami (vápencová krasová oblast) z olivínu, enstatitu a jiných minerálů bohatých na hořčík působením roztoků bohatých na CO<sub>2</sub>. Rovněž se vyskytuje také na hydrotermálních rudních žilách a nebo v okolí kontaktních a regionálních metamorfóz dolomitů, kdy vznikají velká čočkovitá tělesa talku, známá z největších ložisek světa (New Yorku, Vermontu, Virginie, Ontaria, Quebecu). Při poklesu teploty nahrazuje tremolit a chlorit ve facii zelených břidlic (viz obr. 2.6).



Obr. 2.6 Naleziště talku v přírodě /10/

### 2.3.3 Použití talku

Talek je chemicky velmi odolný a žáruvzdorný materiál. Má široké využití v elektrotechnice, kde se používá na výrobu izolátorů, ve slévárenství a sklářství, kde se používá pro svojí odolnost proti vysokým teplotám na vyzdívky. Uplatnění nalézá také v chemickém průmyslu, kde se používá jako plnidlo do papíru, barev, gum a kosmetiky (mýdla, pruhy). Ve stavebnictví na výrobu obkladů a desek. Dále se přidává do asfaltu, psacích materiálů, leštidla. Talek má však mnoho dalších využití. V Číně se používá pro výrobu uměleckých předmětů, které jsou ve světě velmi ceněny, ve sportu (např. vzpírání) se nanáší na ruce pro zlepšení úchopu náčiní, apod.

Největším spotřebitelem talku je však papírenský průmysl. Talek se používá ve třech stádiích výroby papíru:

- jako plnidlo pro hladkost, pórovitost a neprůhlednost papíru a ke snížení nákladů
- pro kontrolu smůly a žmolků během výroby papíru
- v nátěrových preparátech - pro jeho lupínkovitost a vysokou jasnost

Talek vede k redukci užívání drahých bělidel a pomáhá při kontrole lesku nátěru, dále také poskytuje hladkost povrchu a propůjčuje nátěru neprůhlednost. Redukuje tření strojů, čímž snižuje míru jejich opotřebení.

V oblasti stavebního průmyslu se hlavně používá do steatitových hmot, kordieritu, pyrostatu, ale i do porcelánu a korundu (v množství do 5%). Zvlášť



vhodný je pro hmoty vypalované rychlohořpalem. Kalcinovaný talek na teplotu 1250°C-1300°C se používá pro: lisovací hmoty do 15%, licí a tažné hmoty do 50%. V tažených hmotách nastává orientace částic. Velikost částic a granulometrické složení ovlivňuje celkové smršťení hmoty. Kalcinovaný talek a přídavek vypálených střepů do steatitové hmoty snižují její smršťení.

Díky nízké ceně a lupínkovité struktuře se talek široce používá v průmyslu barviv (při jemnosti talku 40µm - 3µm v množství 2% – 30%), zvláště v barvách na lodě a v ochranných nátěrech pro

- posílení vrstvy barvy
- redukci množství spotřeby drahých pigmentů
- kontrolu lesku barev
- pomoc při návaznosti jiných pigmentů
- zlepšení stálosti barev
- zvýšení odolnosti vůči korozi
- zvýšení odolnosti vůči odření.

V oblasti polymerních materiálů je talek používán jako minerální plnivo především díky jeho vlastnostem, jako jsou: lupínkovitost, výborné mísení s pryskyřičnými materiály, dobrá odolnost vůči vysokým teplotám, výborná izolační schopnost atd. Talek se používá především jako plnivo pro PP, HDPE, LDPE, PVC a ABS. V polypropylenu se talek používá především pro zlepšení mechanických vlastností dílců, snížení jejich smršťení a zvýšení odolnosti vůči poškrábání.

Aplikován je pak pro automobilový průmysl pro výrobu palubních desek, vnitřního vybavení, nárazníků, atd.

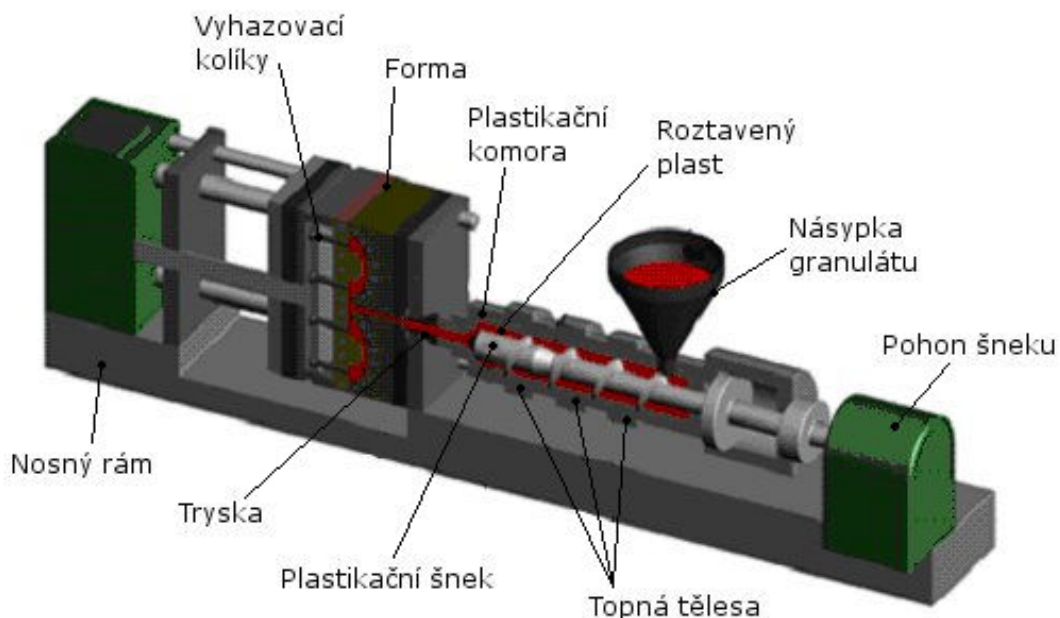
Používá se rovněž pro díly krytů počítačů, zahradní nábytek (kde je velmi žádanou vlastností odolnost vůči UV) i jako antiblokační prvek v materiálech jako jsou: tašky, sáčky, atd.

Talek propůjčuje plastům následující vlastnosti:

- zlepšuje chemickou a tepelnou odolnost
- zlepšuje pevnost materiálu
- zlepšuje rozměrovou stabilitu
- zlepšuje tvrdost, tuhost a napětí.

## 2.4 Vstřikování termoplastů /4/, /6/, /14/, /15/

Vstřikovací proces probíhá na moderních strojích většinou plně automaticky pomocí mikroprocesorového řízení. Vstřikovací stroj se skládá ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a z řízení a regulace, jež jsou patrné na obr. 2.7. Postup vstřikování termoplastu spočívá v dávkování vstupního materiálu (granulátu) do násypky vstřikovacího stroje (nejčastěji pneumaticky). Odtud je pomocí šneku dopravován do tavící komory, kde za současného účinku tření a topení dochází k tavení a homogenizaci taveniny plastu. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Následuje tlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn (dotlak). Již během dotlaku předává plast formě teplo, které je z formy odváděno pomocí temperačního média (nejčastěji cirkulující vodou nebo olejem v temperačních kanálech) a ochlazováním ztuhne ve finální výrobek. Současně během chlazení po dotlaku probíhá plastikace nové dávky materiálu. Potom se forma otevře v dělicí rovině a výrobek je pomocí vyhazovacího mechanismu (kolíky, stírací deskou, stíracími kroužky, apod.) a manipulátorů vyjmut z dutiny formy. Poté se forma opět uzavře a celý cyklus se opakuje.



Obr. 2.7 Schéma vstřikovacího stroje /14/

Vstřikování je tedy proces, který je možné rozdělit do těchto hlavních fází: plastikace materiálu v tavném válci, vstříknutí taveniny do dutiny formy, dotlačování



taveniny (v důsledku smršťování hmoty), její chlazení ve formě a vyjmutí výstřiku z formy. Výrobek získaný vstřikováním se nazývá výstřik.

- **Platikace**

Úkolem plastikace je připravit pro vstřikování homogenní taveninu plastu, která zaujme místo před čelem šneku. Granulát padající z násypky je nabírán otáčejícím se šnekem a roztavuje se v tavném válci. Působením šneku, který se otáčí a zároveň postupuje dozadu, je granulát rozhněten, homogenizován a následně dopravován do prostoru před čelo šneku. Ohřev polymeru se děje převodem tepla ze stěn tavného válce, jež je ohříván topnými tělesy umístěnými vně tohoto válce, za přispění třecího tepla vznikajícího třením o stěnu válce, třením o plochu šneku a třením mezi plastem. Snadněji se prohřívají granule menších rozměrů a měly by mít stejnou velikost.

- **Vstřikování taveniny do formy**

Při vstřikování taveniny do dutiny formy se šnek v tavící komoře pohybuje axiálně dopředu a začíná vlastní vstřikování roztavené hmoty do dutiny vstřikovací formy přes vtokovou soustavu. V důsledku značných smykových sil při vstřikování a charakteru tuhnutí taveniny dochází v závislosti na technologických podmínkách (zejména vstřikovacím tlaku, dotlaku, teplotě taveniny a formy) k orientaci makromolekul mající za následek větší či menší anizotropii vlastností výstřiku. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb, neotáčí se a plní tak funkci pístu. Po naplnění formy je tavenina v dutině ještě stlačena a tlak dosáhne maximální hodnoty. Jakmile tavenina vstoupí do dutiny formy, ihned začne předávat teplo vstřikovací formě a chladne.

- **Dotlak**

Dotlak může být po celou dobu stejně vysoký jako maximální tlak nebo se může po několika sekundách snížit (v závislosti na tlaku v dutině formy nebo v hydraulice, vstříknuté dávce nebo vstřikovacím času) a další chladnutí probíhá při sníženém tlaku. Dotlak se proto rozděluje na izobarický a izochorický. Abychom mohli dotlačovat, musí před čelem šneku zůstat určitý objem plastu (polštář), na který bude šnek působit svým čelem. Tento objem nesmí být moc velký (obvykle kolem 10 až 15 %, méně než jedenásobek průměru šneku  $D$ ), aby nedocházelo k tepelné degradaci hmoty. Dotlakem se nahrazuje úbytek materiálu způsobený

smršťování hmoty při jejím tuhnutí na odpovídající teplotu při vyjímání z formy. Fáze dotlaku má výrazný vliv na vlastnosti výstřiku, například vzhledové. Příliš vysoký dotlak omezuje pohyb makromolekul polymeru a podílí se na vnitřním napětí ve výstřiku (kroucení atd.). Naopak nízký dotlak způsobuje propadliny a staženiny. Po dotlaku začíná plastikace nové dávky plastu.

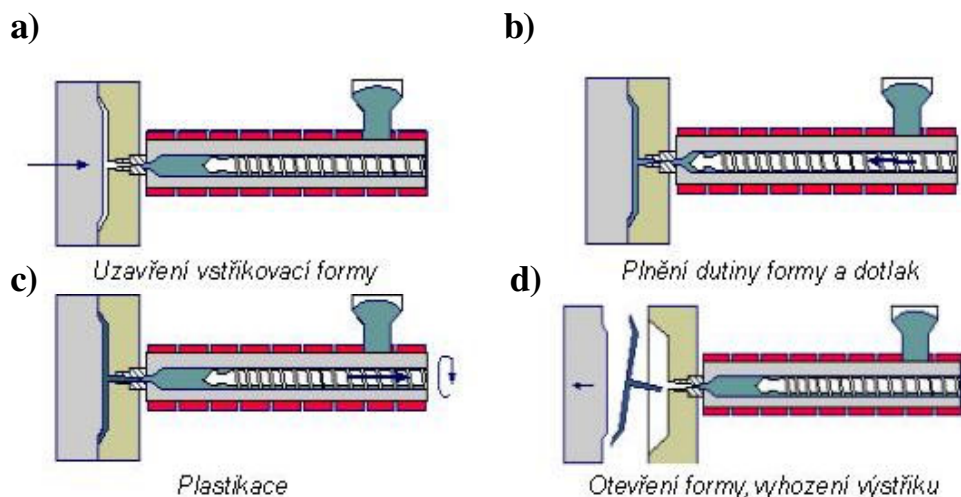
- **Chlazení**

Chlazení výstřiků trvá až do otevření formy a jeho vyjmutí z tvarových částí. V praxi se dělí na dobu chlazení při plném vstřikovacím tlaku a na dobu chlazení při klesajícím tlaku. Doba chlazení je závislá na teplotě formy a tloušťce stěny výrobku. Během chladnutí se hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem. Aby se na výstřiku netvořily propadliny a staženiny, je nutno zmenšování objemu kompenzovat dodatečným dotlačením taveniny do dutiny formy – dotlakem. Kinetické podmínky chlazení a konstrukce temperačního (chladícího) systému se vedle strukturních předpokladů plastu výrazně podílí na výsledné morfologii plastu a tím také na výsledných fyzikálních a mechanických vlastnostech výstřiku.

### 2.4.1 Vstřikovací cyklus

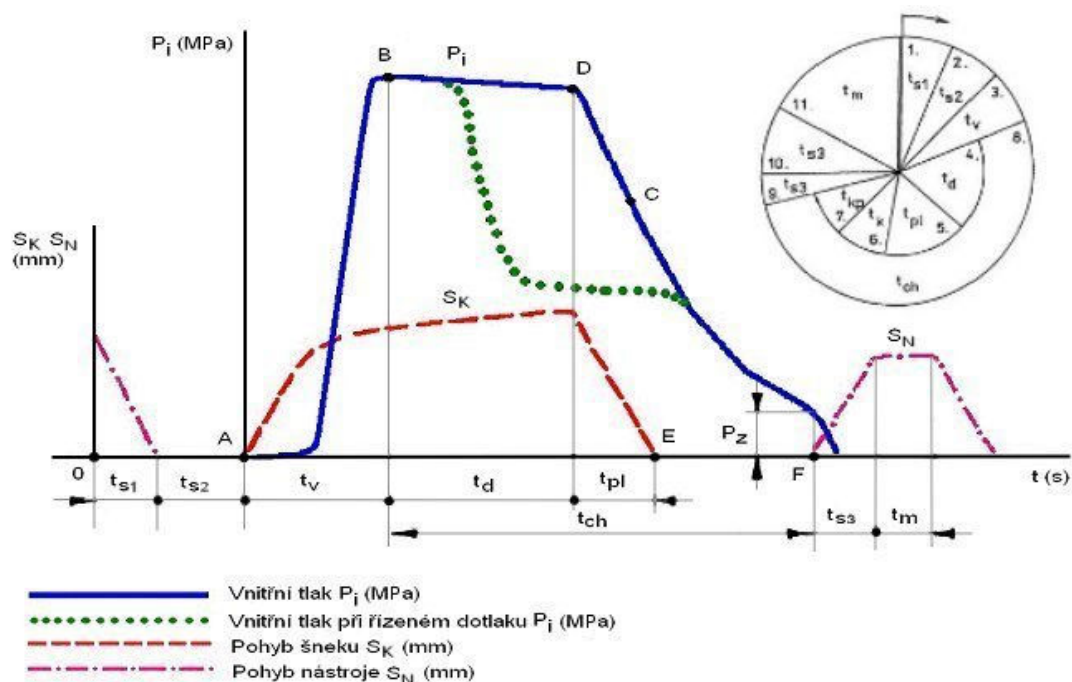
Pro zhotovení výstřiku je nutno zajistit sled přesně za sebou jdoucích operací, které tvoří vstřikovací cyklus. Jeho počátek musí být jednoznačně definován. Bývá to okamžik odpovídající impulzu k zavření formy. Činnost stroje během vstřikovacího cyklu je schématicky znázorněna na obr. 2.8. V první fázi dochází k uzavření formy a přisunutí vstřikovací jednotky (viz obr. 2.8a). Následuje plnění dutiny formy a dotlak (viz obr. 2.8b). Šnek začne plastikovat novou dávku materiálu a vstřikovací jednotka se odsouvá (viz obr. 2.8c) a poté následuje otevření formy a vyhození výstřiku (viz obr. 2.8d).





Obr. 2.8 Schéma vstřikovacího cyklu /3/

Vstřikovací cyklus však můžeme posuzovat i z hlediska zpracovávaného plastu a s výhodou jej vyjádřit jako závislost tlaku v dutině formy na čase. Tento tlak se nazývá vnitřní tlak a značí se  $p_i$ . Krom vnitřního tlaku je i vnější tlak, označovaný  $p$ , kterým se myslí tlak vztažený na jednotku plochy průřezu šneku. Poměry ve formě je možno dobře vyjádřit průběhem vnitřního tlaku taveniny v dutině formy ( $p_i$ ) v závislosti na čase ( $t$ ), neboli tzv. tlakovým cyklem znázorněným na obr. 2.9.


Obr. 2.9 Průběh tlaku v dutině formy  $p_i$  během vstřikovacího cyklu /3/

V okamžiku uzavírání formy ( $t_{s1}$ ) působí dvě síly:

- a)  $F_p$  – přisouvací síla (uzavírá prázdnou dutinu formy)
- b)  $F_u$  – uzavírací síla (dochází k uzavření formy). Uzavírací síla je mnohem větší než přisouvací, to proto, aby se forma během plnění a dotlaku neotevřela. Poté následuje přisunutí tavící komory vstřikovací jednotky k formě ( $t_{s2}$ ). V časovém úseku ( $t_v$ ) dochází k plnění dutiny formy taveninou plastu. V bodě A začíná vlastní vstřikování, dochází k nárůstu tlaku v dutině formy. Tato fáze je ukončena v bodě B, kde je dosaženo maximálního vnitřního tlaku. Jakmile tavenina vstoupí do dutiny formy, ihned začne předávat teplo formě a chladne. To trvá až do otevření formy a vyjmutí výstřiku ( $t_{ch}$ ). Během chladnutí se hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem. Do dutiny formy je dodávána tavenina, která kompenzuje úbytek hmoty v důsledku smrštění materiálu s klesající teplotou. Tento úsek je nazýván dobou dotlaku ( $t_d$ ) a končí v bodě D, kdy začíná doba plastikace nové dávky plastu ( $t_{pl}$ ). Dochází k otáčení šneku a zároveň k jeho posunování dozadu. Plastikace je ukončena ve chvíli, kdy je naplastikována potřebná dávka polymeru v bodě E, dojde k zastavení rotačního pohybu šneku a následuje odsunutí tavící komory od formy ( $t_k$ ), aby bylo zamezeno nežádoucímu přenosu tepla. Po dokonalém zchladnutí výstřiku se forma otevře ( $t_{s3}$ ) v bodě F. Pokud je součást vyjímána z formy manipulátory, následuje časový úsek zvaný manipulace ( $t_m$ ). V tomto čase, je také možno zakládat kovové zálisky do formy, provádět separaci formy apod.

## 2.5 Technický popis hlavních částí vstřikovacího stroje /1/, /6/, /16/

- **Nosná konstrukce:**

je kompaktní (pevná), z ocelových profilů a plechů svařená konstrukce, přizpůsobená pro montáž dalších montážních celků, přiměřeně tvrdá, odolná proti deformacím a jednoduše uložená na úrovněm podloží.

- **Jednotka pro pohon šneku:**

zahrnuje motor na stejnosměrný proud s plynulou regulací rychlosti otáček a tyristorovým řídicím pohonným systémem. Z motoru jde pohon, prostřednictvím elastické převodovky nebo pohonem s klínovým řemenem a dvoufázovým ozubeným redukčním převodem, přímo na šnek vstřikovacího stroje.

- **Plastifikační jednotka:**

sestává z komory a uvnitř uloženým šnekem. Standardně jsou šnek i komory vyrobeny z nitridační oceli a tvrzeny v procesu plynové nitridace. Ve speciálním provedení, úspěšně používaném při zpracování plastů s vysokým obsahem otěrových (příměsí způsobujících otěr) nebo silně korozivních příměsí, mohou mít šneky povrch závitů pokryt vrstvou, která prodlouží jejich životnost. V závislosti na využití vstřikovacího stroje jsou tyto vybaveny hladkými (hladkostěnnými) komorami nebo drážkovaným povrchem v pásmu dopravy plastu a u některých typů je vyráběno odplynovací zařízení.

- **Podávání (přisun) materiálu:**

je ve standardní verzi realizován pomocí gravitačních zásobníků. V případě dávkování a mísení dvou složek materiálu (např. plastu a barvicího koncentráту) je přisun materiálu do tavicí komory realizován gravimetrickými nebo volumetrickými dávkovacími zařízeními (dávkovacím kotoučem nebo dávkovacím šnekem).

## 2.6 Smrštění výstřiků z termoplastů /9/, /15/, /16/, /17/

Smrštění výstřiků z termoplastů lze obecně definovat jako rozdíl mezi objemem tvarové dutiny formy a objemem finálního výrobku. Smrštění výstřiků se v praxi převážně stanovuje jako délkové smrštění a vyjadřuje se v procentech daného rozměru tvarové dutiny formy (viz tab. 2.6), výjimečně se vyjadřuje také jako objemové smrštění. Vzájemný poměr mezi smrštěním délkovým (lineárním) a objemovým je přibližně 1:3.

Tab. 2.6 Smrštění vybraných materiálů /17/

Materiál	Smrštění [mm]	Smrštění [%]
neplněný polypropylen	0,010-0,025	1,0 - 2,5
PP plněný 40% talku	0,008-0,015	0,8 - 1,5
PP plněný 40% CaCO <sub>2</sub>	0,007-0,014	0,7 - 1,4

Smrštění plastu není při vstřikování materiálovou konstantou, ale kromě volby materiálu a jeho složení je závislé na tepelně mechanické historii výstřiku, tj. na technologickém režimu výroby, na geometrickém tvaru výrobku a také na konstrukci

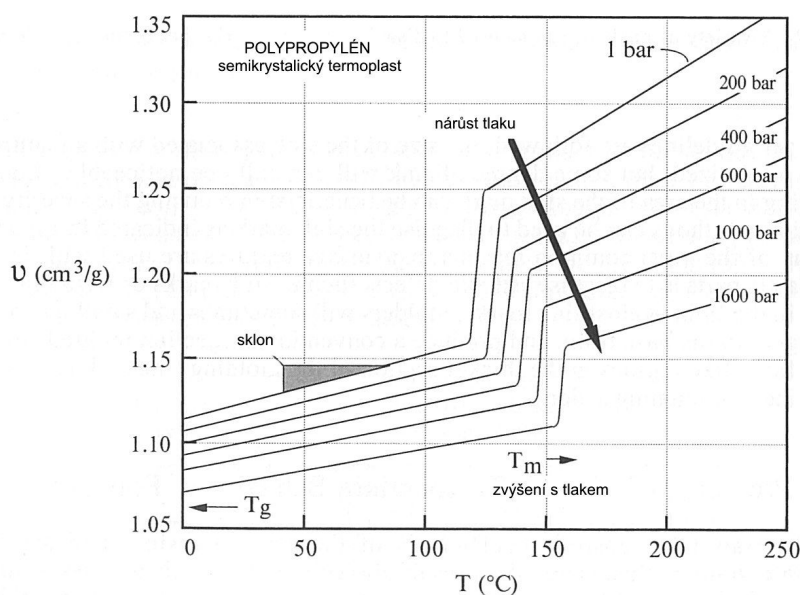
nástroje. Velikost smrštění lze ovlivnit minerálními plnivy, kromě talku také křídou, slídou a křemíkem. Projevuje se hlavně v průběhu tuhnutí taveniny plastu a v čase bezprostředně následujícím po vyjmutí z formy. Objem výrobku po vyjmutí z formy a tím i velikost jeho rozměrů je výsledkem dvou dějů probíhajících současně v tvarové dutině formy v poslední části výrobního cyklu:

***smrštění tuhnoucí taveniny polymeru v důsledku snižování teploty***

***a elastické vyrovnání vznikajících objemových deformací.***

Smrštění je způsobené kombinací teplotního smrštění, objemové relaxace a relaxace orientace makromolekul termoplastu a u semikrystalických termoplastů má navíc vliv, průběh a podmínky krystalizace materiálu. Výsledný objem výstřiku je určen především jeho teplotou a tlakem v dutině formy v okamžiku zatuhnutí vtoku. Z p-v-T diagramu (viz obr. 2.10) vyplývá, že pokud bude za konstantní teploty při zatuhnutí vtoku zvýšen vnitřní tlak, tak poklesne měrný objem (vzroste hustota a hmotnost) výstřiku a dojde k redukci míry smrštění, protože to bude více kompenzováno elastickým odpružením hmoty a naopak při snížení vnitřního tlaku dojde ke zvětšení míry smrštění.

Ke změně objemu výstřiku dochází i po delší době od vyrobení součásti, a proto se celková hodnota smrštění (celkové smrštění) dělí na výrobní smrštění (měřené 16 až 24 hodin po vyrobení), zkráceně nazývané smrštění, a na smrštění měřené po delším časovém odstupu od výroby (popř. po temperování) a nazývá se dodatečné smrštění. Dodatečné smrštění bývá obvykle několikanásobně nižší než smrštění výrobní a stanovuje se z rozdílu mezi rozměry vstřikovaného tělesa před a po dodatečné úpravě. Podmínkami pro dodatečnou úpravu mohou být kromě temperace (k urychlení dodatečného smrštění) například i podmínky pro úpravy povrchu, skladování nebo používání výrobků. Velikost dodatečného smrštění může být ovlivněna navlhavostí plastu, popř. ztrátou nízkomolekulárních sloučenin, avšak velmi často je v průmyslové praxi důsledkem nevhodných technologických podmínek potlačující krystalizaci plastu (např. v důsledku nízké teploty temperace formy). Celkové smrštění pak vyjadřuje rozdíl mezi rozměry výstřiku po „dodatečné úpravě“ a rozměry tvarové dutiny formy.



Obr. 2.10 p-v-T diagram /3/

Jelikož se vstřikované výrobky začínají používat již brzy po výrobě, probíhá dodatečné smrštění často až společně s funkčními rozměrovými změnami výrobku, např. v důsledku působení tepla při aplikaci dílu (viz klimatizační jednotky u automobilů). Za nepříznivých podmínek může tato změna rozměrů způsobit až nefunkčnost výrobku. Jelikož se při vyšších teplotách dodatečné smrštění urychluje, dá se zčásti předem realizovat tepelným zpracováním (temperováním v horké komoře, při teplotě dané konkrétnímu plastu) a omezit tak nežádoucí změny rozměrů během používání výrobků s vysokými požadavky na přesnost rozměrů. Podmínky temperování termoplastů je nutné stanovovat experimentálně s ohledem na tvar výrobku a jeho strukturu. Teplota temperování by neměla překročit teplotu, při které by mohlo dojít k tvarovým deformacím. Výrobní i dodatečné smrštění rozlišujeme podélné (ve směru rovnoběžném se směrem toku taveniny) a příčné (ve směru kolmém ke směru toku taveniny). U neplněných plastů nebo u plastů s práškovým plnivem je smrštění ve směru toku taveniny větší, než ve směru kolmém. Hodnota smrštění je velkou měrou závislá na technologických parametrech vstřikování.

Všechny technologické parametry, regulovatelné na vstřikovacím stroji, slouží k dosažení optimálního vztahu mezi teplotou a tlakem taveniny v dutině formy. Základní parametry jsou ty, které ovlivňují časový průběh těchto veličin

bezprostředně. Ostatní slouží k citlivějšímu ovládání základních parametrů – lze je označit jako vedlejší.

Základními parametry jsou: teplota formy, teplota taveniny při výstupu z trysky, doba plnění formy (doba vstřiku), doba dotlaku, doba chlazení, vstřikovací tlak a dotlak. Dotlak má velký vliv na strukturu výrobku. Působí současně s fází chladnutí výstřiku. Velikost dotlaku a jeho doba trvání musí odpovídat procesu smršťování hmoty ve formě. Zvýšení vstřikovacího tlaku a dotlaku vede k vyššímu stupni naplnění formy, vyvolává zmenšení volného objemu polymeru a tím se zmenší i velikost smrštění. Velikost smrštění je dána velikostí měrného objemu, který má výstřik v čase, kdy došlo k zatuhnutí ústí vtoku. Čím je větší měrný objem v době zatuhnutí, tím větší bude smrštění, a naopak. Čím vyšší je dotlak nebo doba dotlaku, tím se zmenšuje smrštění, avšak zvyšuje se orientace makromolekul ve výstřiku. Nižší teplota formy a zároveň vyšší teplota taveniny ovlivňuje smrštění jen v malé míře. S rostoucí teplotou formy roste velikost smrštění, s teplotou taveniny rovněž. Ovšem při optimálních podmínkách plnění dutiny formy, může mít teplota taveniny příznivý vliv na smrštění výstřiku. Změna vstřikovacího tlaku a rychlosti plnění znatelně neovlivňují velikost smrštění. S rostoucím dotlakem roste orientace makromolekul ve výstřiku.

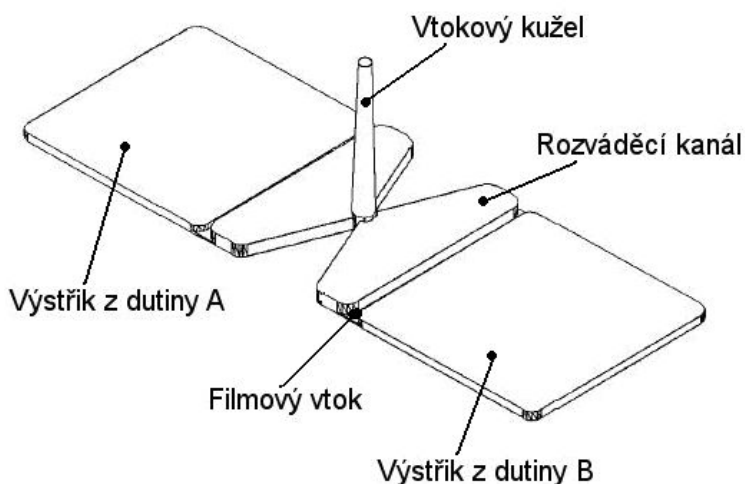
### 2.6.1 Hodnocení velikosti smrštění

Při vstřikování termoplastů kolísá rozdíl mezi rozměry tvarové dutiny formy a rozměry hotových výstřiků v závislosti na konstrukci formy a na podmínkách vstřikování. Tyto rozdíly mohou záviset na kapacitě vstřikovacího stroje, na tvaru a na rozměrech výstřiku, na stupni a směru toku nebo pohybu materiálu ve formě, na velikosti průřezu vtokového kanálu, rozváděcího kanálu a vtokového ústí, dále na cyklu stroje, na teplotě taveniny a teplotě formy a na velikosti a délce trvání dotlaku. Výrobní smrštění a dodatečné smrštění jsou způsobeny krystalizací, objemovou relaxací, relaxací orientace materiálu a rovněž tepelnou kontrakcí jak termoplastu, tak formy. Dodatečné smrštění může být rovněž ovlivněno sorpcí vlhkosti.

Metodu stanovení výrobního a dodatečného smrštění vstřikovaných zkušebních těles z termoplastů předepisuje norma ČSN EN ISO 294-4 a to ve směru kolmém a rovnoběžném se směrem toku taveniny v dutině formy. Nezahrnuje však vliv sorpce vlhkosti. Smrštění se standardně stanovuje na zkušebních tělesech o

rozměrech (60 x 60 x 2) mm, zhotovené ve dvounásobné formě typu D2 podle ISO 294-3 s filmovým ústím vtoku (viz obr. 2.11).

Při měření délky zkušební tělesa je nutné měřit vždy nad ústím vtoku. Každé zkušební těleso je nutné odříznout od rozváděcího kanálu okamžitě po otevření formy, aby bylo minimalizováno borcení. Je nutné dbát, aby se strany zkušební tělesa, které budou použity k měření rozměrů, během odřezávání nepoškodily. Zkušební tělesa se ponechají chladnout na pokojovou teplotu, přičemž se umístí na podloží z materiálu s nízkou teplotní vodivostí a dle potřeby se zatíží vhodnou zátěží, která zabráni borcení, ale neovlivní významně smrštění. Zkušební tělesa se skladují při standardní teplotě ( $23 \pm 2$ ) °C po dobu 16 až 24 hodin. Vykazují-li materiál zaznamenaný rozdíl výrobního smrštění při skladování ve vlhkém a suchém prostředí, je nutné skladovat zkušební tělesa z takového materiálu v suchém prostředí.



Obr. 2.11 Zkušební těleso s filmovým ústím /3/



### **3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST /3/, /17/, /18/, /19/, /20/**

V souladu s cíly bakalářské práce je v následujících kapitolách charakterizován způsob výroby zkušebních těles a podmínky experimentálního měření výrobního a dodatečného smrštění, včetně naměřených hodnot pro oba materiály firmy ExxonMobil Chemical s talkem a bez talku. Tloušťka zkušebních těles odpovídá tloušťce výstřiků, jež jsou součástí klimatizačních jednotek vyráběných firmou Valeo Autoklimatizace Rakovník, v jejíž spolupráci byla bakalářská práce zadána.

#### **3.1 Charakteristika zkoušených materiálů**

Pro experimentální stanovení výrobního a dodatečného smrštění výstřiku z polypropylenu byl použit v souladu se zadáním bakalářské práce homopolymer polypropylenu obchodního označení ExxonMobil™ 1044 L1 (dále označován pouze jako PP) s velmi dobrou tekutostí, plněný pouze antistatiky a homopolymer polypropylenu Exxtral HMU 234 plněný 20% talku (dále označován jako PP20T), rovněž s dobrou tekutostí a s vyšší tuhostí a tvarovou stálostí za vysokých teplot. Vybrané reologické, fyzikální a tepelné vlastnosti pro oba výše uvedené materiály jsou uvedeny v tab. 3.1.

Tab. 3.1 Vybrané vlastnosti materiálů ExxonMobil™ 1044 L1 a Exxtral HMU 234 /19/

Vlastnosti	Metoda	Exxon	Exxtral
Index toku taveniny	ISO 1133 (230/2,16)	17 g/10min	10 g/10min
Sekantový modul pružnosti v tahu	ISO 527/1A/1	1550 MPa	3350 MPa
Napětí na mezi kluzu v tahu	ISO 527/1A/50	35 MPa	34 MPa
Deformace na mezi kluzu v tahu	ISO 527/1A/50	8%	4%
Vrubová houževnatost Charpy	ISO 179/1eA	2,5 kJ/m <sup>2</sup>	2,7 kJ/m <sup>2</sup>
Tvarová stálost za vysokých teplot HDT/A	ISO 75 (1,8 MPa)	55°C	68 °C
Hustota	ISO 1183	0,91 g/cm <sup>3</sup>	1,06 g/cm <sup>3</sup>



## 3.2 Výroba zkušebních těles

### 3.2.1 Vstřikovací stroj a nástroj

Všechny výstřiky pro experimentální potřeby byly zhotoveny na vstřikovacím stroji ENGEL ES 25/50 (viz obr. 3.1), v univerzálním nástroji, který má výměnnou kotevní desku s různými tvarovými dutinami. Technické parametry vstřikovacího stroje jsou uvedeny v tab. 3.2. V rámci experimentálního měření bylo použito tvarových dutin ve tvaru desek o rozměrech 50x50 mm a tloušťek 3 mm, na nichž byly dále za daných podmínek stanoveny hodnoty smrštění.

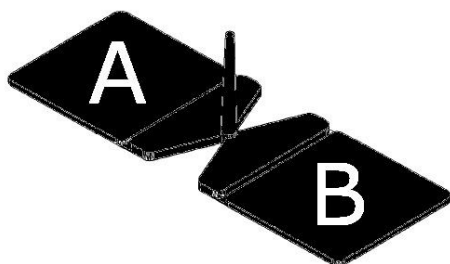


Obr.3.1 vstřikovací stroj ENGEL ES 25/50 /3/

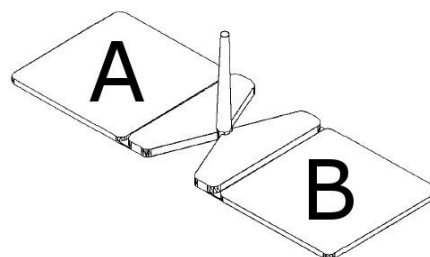
Výstřiky (viz obr. 3.2 a obr. 3.3) byly vyrobeny ve dvojnásobné vstřikovací formě s filmovým ústím vtoku o šířce 50 mm. Vyhození výstřiků bylo zajištěno vyhazovacím kolíkem. Výstřiky byly rozlišeny označením tvarových dutin formy písmeny A a B. Písmeno A pro horní část formy a B pro spodní část formy. Temperačním médiem ve formě byla cirkulující voda ve vrtaných temperačních kanálech tvárníku a temperační desce přiléhající bezprostředně ke kotevní desce pohyblivé části nástroje, tj. tvárnice. Chlazení tvárníku (pevné části formy) je konstrukčně řešeno trubkovým temperačním systémem, jednotlivé kanály jsou propojeny spojovacími prvky, zatímco chlazení tvárnice (pohyblivé části formy) je řešeno pomocí kruhového chladicího systému s obdélníkovým průřezem v temperační desce přiléhající k tvárnici.

Tab.3.2 parametry vstřikovacího stroje

Parametry stroje		
Průměr šneku	25	[mm]
Zdvih šneku	85	[mm]
Otáčky šneku (normální)	50 - 130	[min <sup>-1</sup> ]
Otáčky šneku (zrychlené)	50 - 260	[min <sup>-1</sup> ]
Plastikační kapacita	14	[kg.hod <sup>-1</sup> ]
Vstřikovací kapacita	35	[cm <sup>3</sup> ]
Max. vstřik. tlak	140	[MPa]
Uzavírací síla	300	[kN]
Průměr šneku	25	[mm]
Maximální výška formy	242	[mm]
Minimální výška formy	152	[mm]

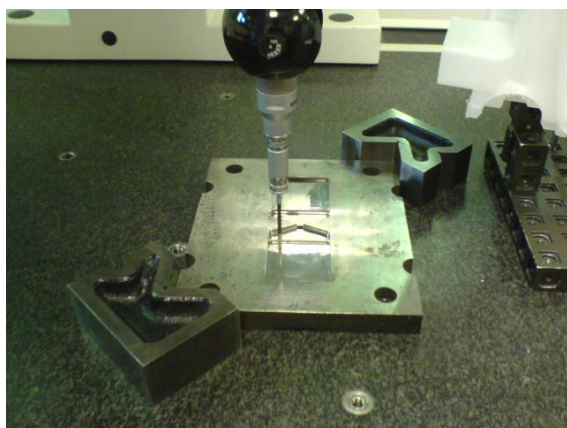


Obr. 3.2 Výstřik s 20% obsahem talku



Obr. 3.3 Výstřik bez obsahu talku

Skutečné rozměry dutin A a B formy pro vstřikování těles o tloušťce 3 mm byly změřeny v referenčních bodech za pokojové teploty, která činila 23 °C a vlhkost vzduchu 33 % na 3D měřicím stroji (viz obr. 3.4) s přesností měření na 0,01 mm. Rozměry byly měřeny ve směru podélném (tj. ve směru toku taveniny) a příčném. Naměřené hodnoty uvádí tab. 3.3.



Obr. 3.4 Měření royměrů tvarových dutin formy na 3D měřícím stroji /17/

Tab. 3.3 Naměřené hodnoty dutiny formy

Rozměry dutiny formy [mm]				
3 mm	Dutina A	podélný směr	$l_C$	49,54
		příčný směr	$b_C$	50,05
	Dutina B	podélný směr	$l_C$	50,09
		příčný směr	$b_C$	50,02

### 3.2.2 Technologické podmínky

Zkušební tělesa pro stanovení smrštění byla zhotovena za různých teplot teplonosného média temperačního systému formy v rozmezích hodnot 20°C, 30 °C, 40 °C, 50 °C a 60°C a to pro oba hodnocené materiály. Pro každé experimentální podmínky (materiál a teplotu temperace) bylo vyrobeno nejméně 12 vzorků (12 dvojic vzorků A a B), při ustálených parametrech vstřikovacího cyklu (minimálně po deseti vstřikovacích cyklech). Ostatní technologické parametry jako teplota taveniny, velikost vstřikovacího tlaku a dotlaku, doba vstřikování apod. (viz tab.3.4) zůstaly během procesu vstřikování konstantní, tak aby na výsledek experimentálního měření měla vliv právě jen teplota temperačního média. Zhotovené zkušební vzorky byly po vyrobení odděleny od vtokové soustavy a ponechány chladnout při standardní teplotě 23±2°C. Při této teplotě byly rovněž v průběhu měření skladovány.

Tab. 3.3 Nastavené hodnoty vstřikovacího stroje ENGEL ES 25/50



Technologické parametry pro vstřikování zkušebních těles		
Teploty topných pásem	160 / 140 / 120	°C
Teplota na trysce	0,5	A
Doba vstřikování a dotlaku	25	s
Doba chlazení po plastikaci	10	s
Celková doba	55	s
Vstřikovací tlak	2	MPa
Rychlost vstřikování	7	mm/s
Průměr trysky	3	Mm
Průměr dýzy	5	Mm
Manipulace pro PP 20T	6 (dávkování =11)	s
Manipulace pro PP	2 (dávkování =15)	s

### 3.3 Stanovení smrštění výstřiků

Vlastní experimentální měření smrštění výstřiků z materiálů PP a PP20T bylo rozděleno do tří fází:

- 1) měření výrobního smrštění: po 24 hodinách od výroby
- 2) měření dodatečného smrštění: po 240 hodinách od výroby
- 3) měření dodatečného smrštění po temperaci, tj. smrštění výstřiků vystavených tepelnému zatížení.

K měření dodatečného smrštění po 240 hodinách od výroby bylo přistoupeno na základě analýzy smrštění malých výlisků klimatizačních jednotek vyráběných ve firmě Valeo Autoklimatizace popsané v předešlých studiích v rámci bakalářských prací /17/, /18/.

Vzhledem ke skutečnosti, že výstřiky, jež jsou součástí klimatizačních jednotek v automobilu, jsou v průběhu jejich funkční doby podstoupeny tepelnému namáhání, bylo na základě konzultací s technologií firmy Valeo stanovováno rovněž smrštění na vzorcích temperovaných po 240 hodinách od výroby v horkovzdušné sušárně, při teplotě 100°C, po dobu 24 hodin. Délkové rozměry vzorků byly měřeny digitálním úchylkoměrem Mitutoyo ID- F150 s dosažitelnou přesností měření 0,001 mm. Měřicí přístroj byl umístěn ve speciálně zhotoveném měřicím přípravku (viz obr. 3.5).

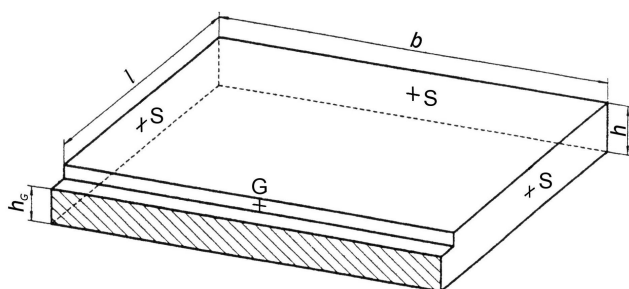


Obr. 3.5 Měřicí přístroj Mitutoyo ID- F150 ve speciálním držáku /3/

### 3.3.1 Výrobní smrštění

Výrobní smrštění ( $S_M$ ) je rozdíl mezi rozměry suchého zkušebního tělesa a rozměry tvarové dutiny formy, v níž bylo zkušební těleso vstřikováno. Rozměry formy i zkušebního tělesa byly měřeny při pokojové teplotě.

Výrobní smrštění ( $S_M$ ) je stanoveno v podélném směru ( $S_{Mp}$ ) a v příčném směru ( $S_{Mn}$ ) vůči směru toku taveniny.  $S_{Mp}$  se stanovuje ve středu šířky zkušebního tělesa a  $S_{Mn}$  ve středu délky zkušebního tělesa. Na obr. 3.6 je znázorněno umístění referenčních bodů (S, G), v nichž jsou měřeny rozměry zkušebního tělesa. Výška  $h_G$  značí zbytek ústí vtoku.



Obr. 3.6 Referenční body na vstřikovaném zkušebním tělese

Výrobní smrštění je vyjádřeno rovnicemi (3.1) a (3.2):

$$S_{Mp} = \frac{(l_c - l_1)}{l_c} \cdot 100 \quad (3.1)$$

$$S_{Mn} = \frac{(b_c - b_1)}{b_c} \cdot 100 \quad (3.2)$$

kde  $l_c$  a  $b_c$  jsou délka a šířka ve středu tvarové dutiny formy (mm)  
 $l_1$  a  $b_1$  je délka a šířka zkušební tělesa (mm).

### 3.3.2 Dodatečné smrštění

Dodatečné smrštění ( $S_p$ ), je definováno jako rozdíl mezi rozměry vstříkovaného zkušební tělesa před dodatečnou úpravou a po ní (v případě experimentálního měření bakalářské práce po 240 hodinách od výroby). Rozměry jsou měřeny při pokojové teplotě.

Dodatečné smrštění ve směru rovnoběžném se směrem toku taveniny se značí ( $S_{pp}$ ) a dodatečné smrštění ve směru kolmém ke směru toku taveniny ( $S_{pn}$ ). Dodatečné smrštění je stanoveno podle rovnic (3.3) a (3.4):

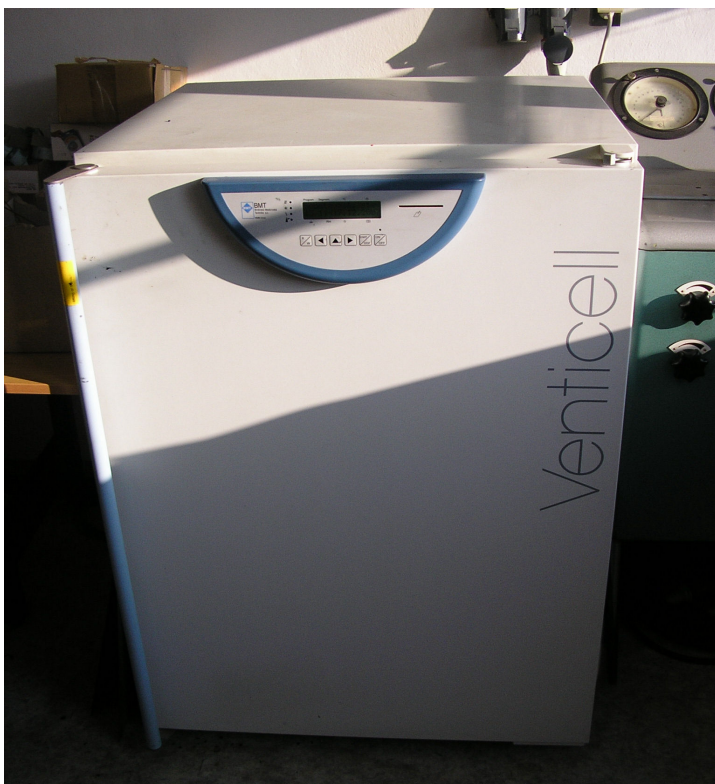
$$S_{pp} = \frac{(l_1 - l_2)}{l_1} \cdot 100 \quad (3.3)$$

$$S_{pn} = \frac{(b_1 - b_2)}{b_1} \cdot 100 \quad (3.4)$$

kde  $l_2$  a  $b_2$  jsou délka a šířka zkušební tělesa po 240 hodinách od výroby (mm).

### 3.3.3 Smrštění po temperaci

Temperace je dodatečná úprava zkušební vzorku. Zkušební vzorky byly udržovány v horkovzdušné laboratorní sušárně s nucenou cirkulací vzduchu (viz obr. 3.7) na konstantní teplotě 100°C po dobu 24 hodin. Po temperaci byla zkušební tělesa vyjmuta, rozložena na rovné podložce a ponechána volně chladnout. Po 24 hodinách znovu byly měřeny rozměry těles pro zjištění smrštění po temperaci, resp. po tepelném zatížení.

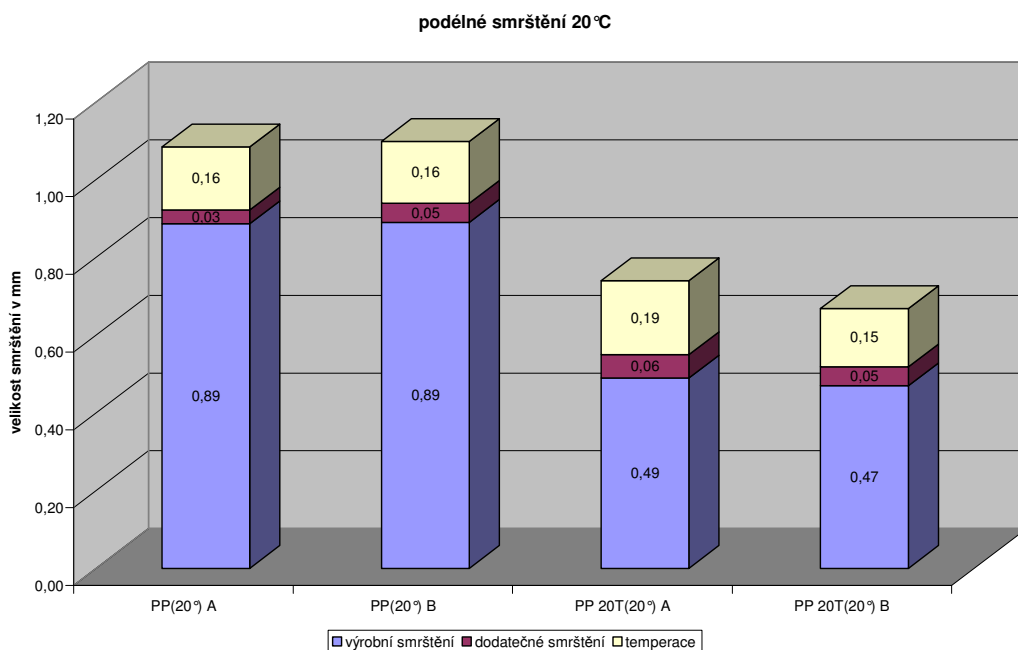


Obr. 3.7 Laboratorní sušička

### 3.4 Naměřené hodnoty podélného smrštění pro destičky o tloušťce 3 mm

Naměřené hodnoty podélného smrštění zkušebních těles z materiálů PP a PP20T v jednotlivých tvarových dutinách formy A a B, zjišťované v jednotlivých fázích experimentálního měření (tj. výrobní, dodatečné smrštění a smrštění po temperaci) jsou rozděleny dle teplot temperačního média formy do dílčích kapitol 3.4.1 až 3.4.5 a graficky vyjádřeny na obr.3.8 až obr.3.12, resp. číselně v tab.3.4 až tab.3.8.

### 3.4.1 Teplota vstřikovací formy 20 °C



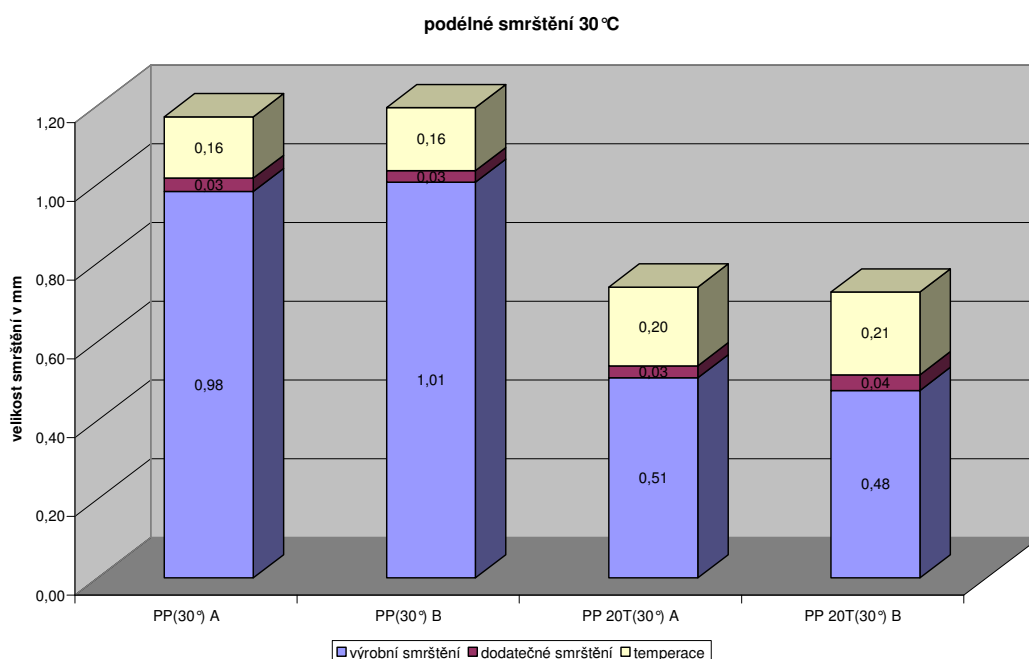
Obr. 3.8 Poměr výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 20°C

Tab. 3.4 Velikost výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 20°C

Podélné smrštění 20 °C	Výrobní smrštění [mm]	Dodatečné smrštění [mm]	Smrštění po temperaci [mm]
<b>dutina A (PP)</b>	0,89±0,02	0,03±0,01	0,16±0,02
<b>dutina B (PP)</b>	0,89±0,02	0,05±0,02	0,16±0,02
<b>dutina A (PP 20T)</b>	0,49±0,01	0,06±0,02	0,19±0,02
<b>dutina B (PP 20T)</b>	0,47±0,02	0,05±0,02	0,15±0,02



### 3.4.2 Teplota vstřikovací formy 30 °C

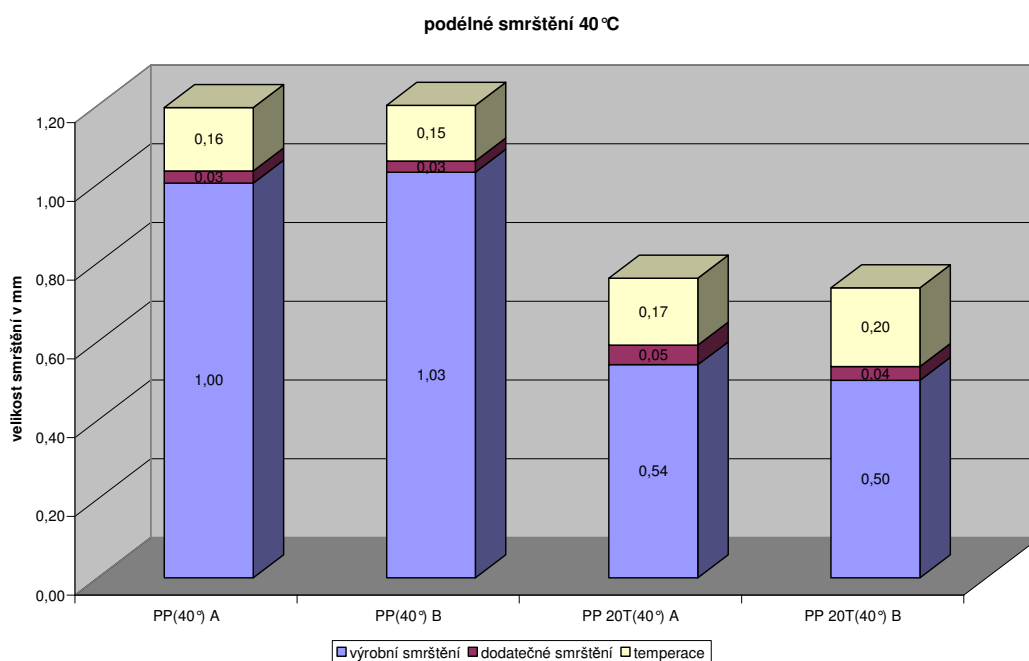


Obr. 3.9 Poměr výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 30 °C

Tab. 3.5 Velikost výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 30 °C

Podélné smrštění 30 °C	Výrobní smrštění [mm]	Dodatečné smrštění [mm]	Smrštění po temperaci [mm]
<b>dutina A (PP)</b>	0,98±0,01	0,03±0,01	0,16±0,01
<b>dutina B (PP)</b>	1,01±0,01	0,03±0,01	0,16±0,01
<b>dutina A (PP 20T)</b>	0,51±0,01	0,03±0,01	0,20±0,01
<b>dutina B (PP 20T)</b>	0,48±0,01	0,04±0,01	0,21±0,01

### 3.4.3 Teplota vstřikovací formy 40 °C

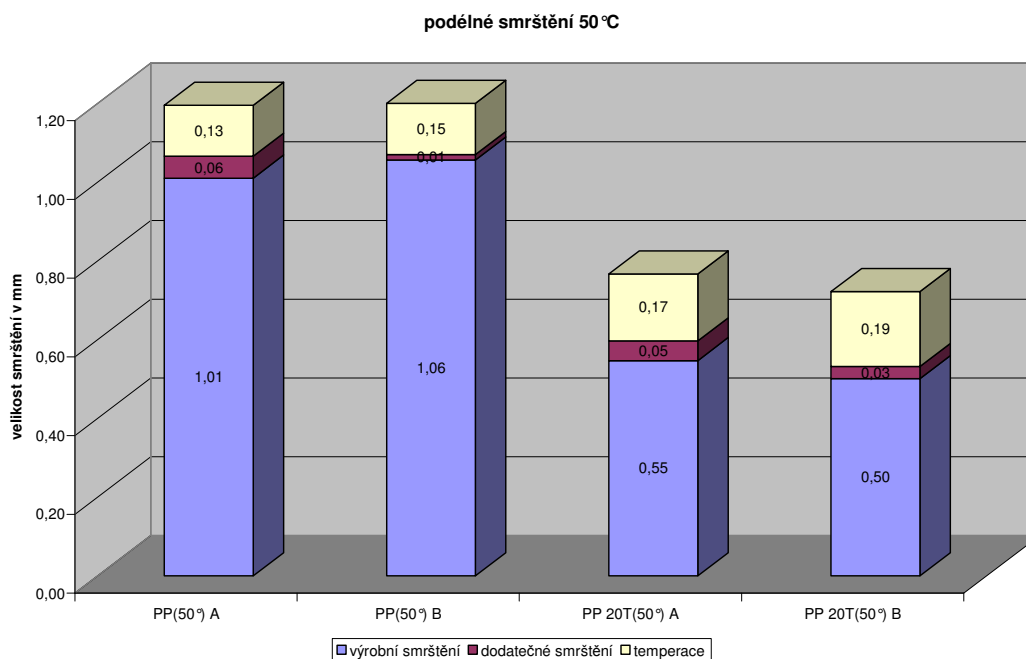


Obr. 3.10 Poměr výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 40°C

Tab. 3.6 Velikost výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 40°C

Podélné smrštění 40 °C	Výrobní smrštění [mm]	Dodatečné smrštění [mm]	Smrštění po temperaci [mm]
<b>dutina A (PP)</b>	1,00±0,02	0,03±0,02	0,16±0,02
<b>dutina B (PP)</b>	1,03±0,02	0,03±0,02	0,15±0,02
<b>dutina A (PP 20T)</b>	0,54±0,01	0,05±0,01	0,17±0,01
<b>dutina B (PP 20T)</b>	0,50±0,01	0,04±0,01	0,20±0,01

### 3.4.4 Teplota vstřikovací formy 50 °C

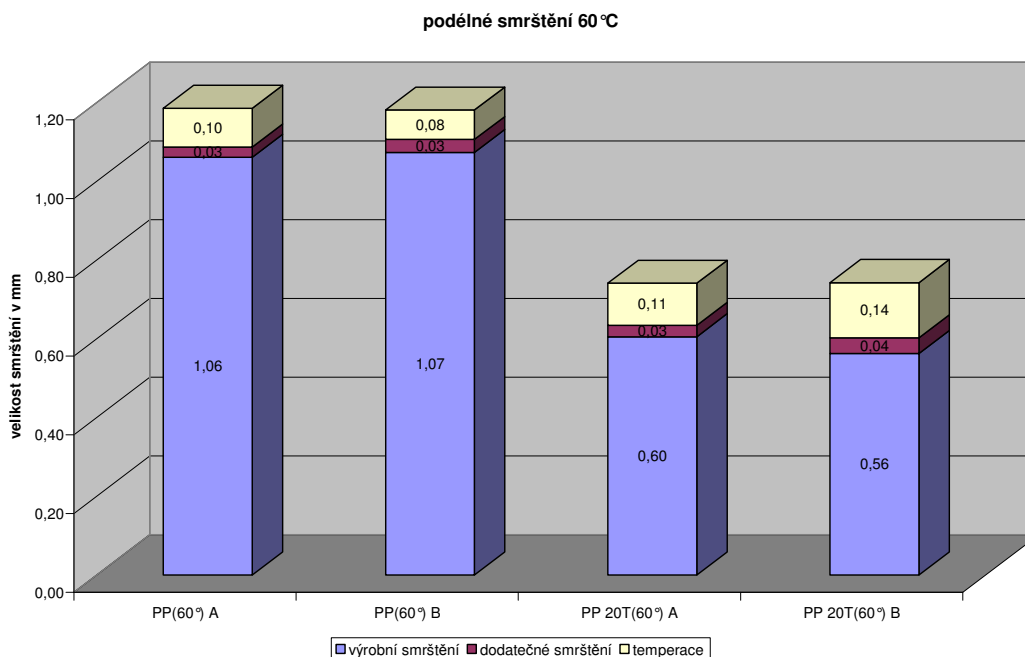


Obr. 3.11 Poměr výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 50°C

Tab. 3.7 Velikost výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 50°C

Podélné smrštění 50 °C	Výrobní smrštění [mm]	Dodatečné smrštění [mm]	Smrštění po temperaci [mm]
<b>dutina A (PP)</b>	1,01±0,02	0,06±0,02	0,13±0,02
<b>dutina B (PP)</b>	1,06±0,02	0,04±0,02	0,15±0,02
<b>dutina A (PP 20T)</b>	0,55±0,02	0,05±0,02	0,17±0,02
<b>dutina B (PP 20T)</b>	0,50±0,01	0,03±0,01	0,19±0,01

### 3.4.5 Teplota vstřikovací formy 60 °C



Obr. 3.12 Poměr výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 60°C

Tab. 3.8 Velikost výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 60°C

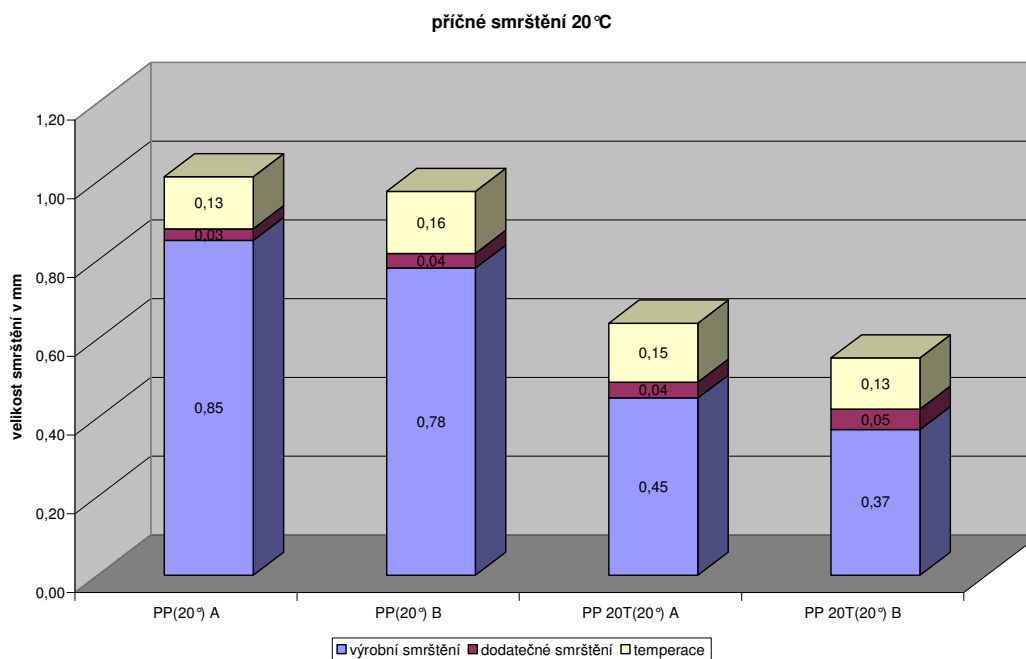
Podélné smrštění 60 °C	Výrobní smrštění [mm]	Dodatečné smrštění [mm]	Smrštění po temperaci [mm]
dutina A (PP)	1,06±0,02	0,03±0,02	0,10±0,02
dutina B (PP)	1,07±0,01	0,03±0,01	0,08±0,01
dutina A (PP 20T)	0,60±0,02	0,03±0,02	0,11±0,02
dutina B (PP 20T)	0,56±0,02	0,04±0,02	0,14±0,02

### 3.5 Naměřené hodnoty příčného smrštění pro destičky o tloušťce 3 mm

Naměřené hodnoty příčného smrštění zkušebních těles z materiálů PP a PP20T v jednotlivých tvarových dutinách formy A a B, zjišťované v jednotlivých fázích experimentálního měření (tj. výrobní, dodatečné smrštění a smrštění po temperaci) jsou rozděleny dle teplot temperačního média formy do dílčích kapitol

3.5.1 až 3.5.5 a graficky vyjádřeny na obr.3.13 až obr.3.17, resp. číselně v tab.3.9 až tab.3.13.

### 3.5.1 Teplota vstřikovací formy 20 °C

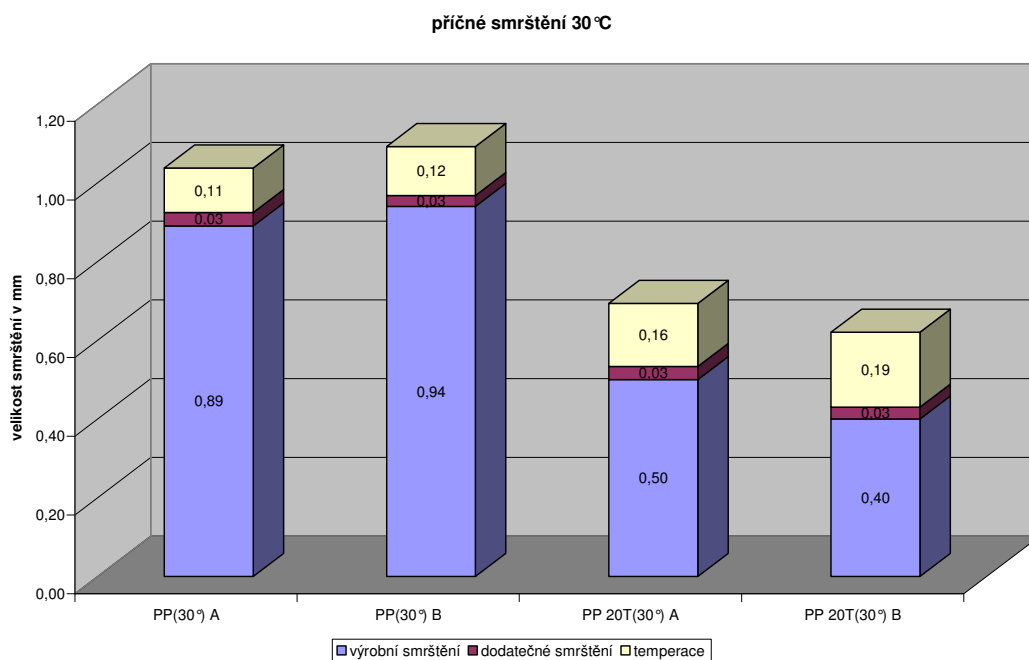


Obr. 3.13 Poměr výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 20°C

Tab. 3.9 Velikost výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 20°C

Příčné smrštění 20 °C	Výrobní smrštění [mm]	Dodatečné smrštění [mm]	Smrštění po temperaci [mm]
<b>dutina A (PP)</b>	0,85±0,02	0,03±0,02	0,13±0,02
<b>dutina B (PP)</b>	0,78±0,02	0,04±0,02	0,16±0,02
<b>dutina A (PP 20T)</b>	0,45±0,02	0,04±0,02	0,15±0,02
<b>dutina B (PP 20T)</b>	0,37±0,02	0,05±0,02	0,13±0,02

### 3.5.2 Teplota vstřikovací formy 30 °

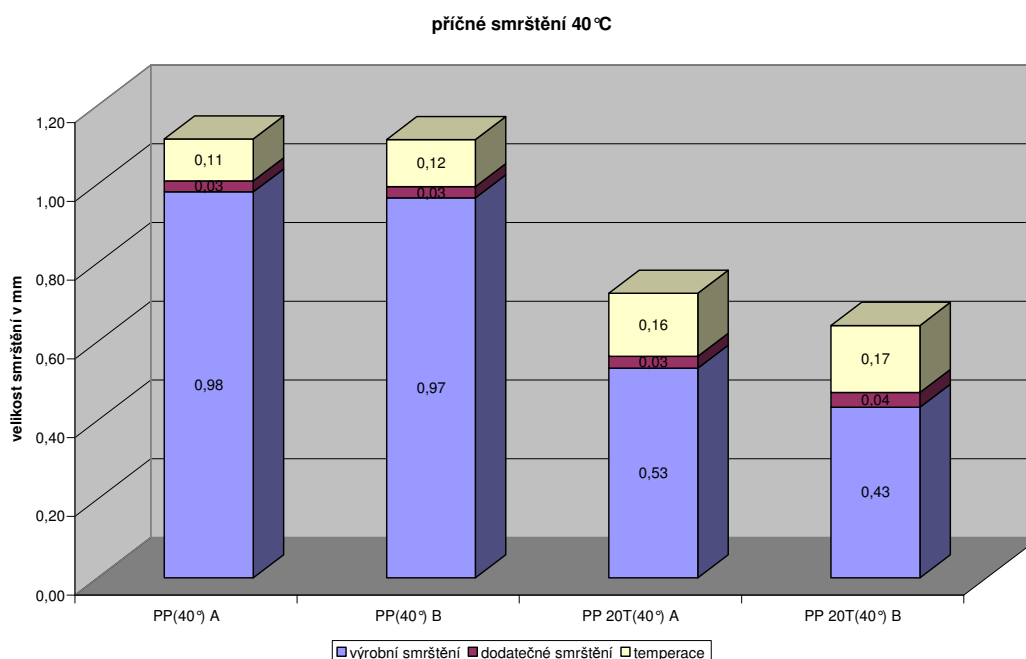


Obr. 3.14 Poměr výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 30 °C

Tab. 3.10 Velikost výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 30 °C

Příčné smrštění 30 °C	Výrobní smrštění [mm]	Dodatečné smrštění [mm]	Smrštění po temperaturaci [mm]
dutina A (PP)	0,89±0,02	0,03±0,02	0,11±0,02
dutina B (PP)	0,94±0,02	0,03±0,02	0,12±0,02
dutina A (PP 20T)	0,50±0,01	0,03±0,01	0,16±0,01
dutina B (PP 20T)	0,40±0,01	0,03±0,01	0,19±0,01

### 3.5.3 Teplota vstřikovací formy 40 °C

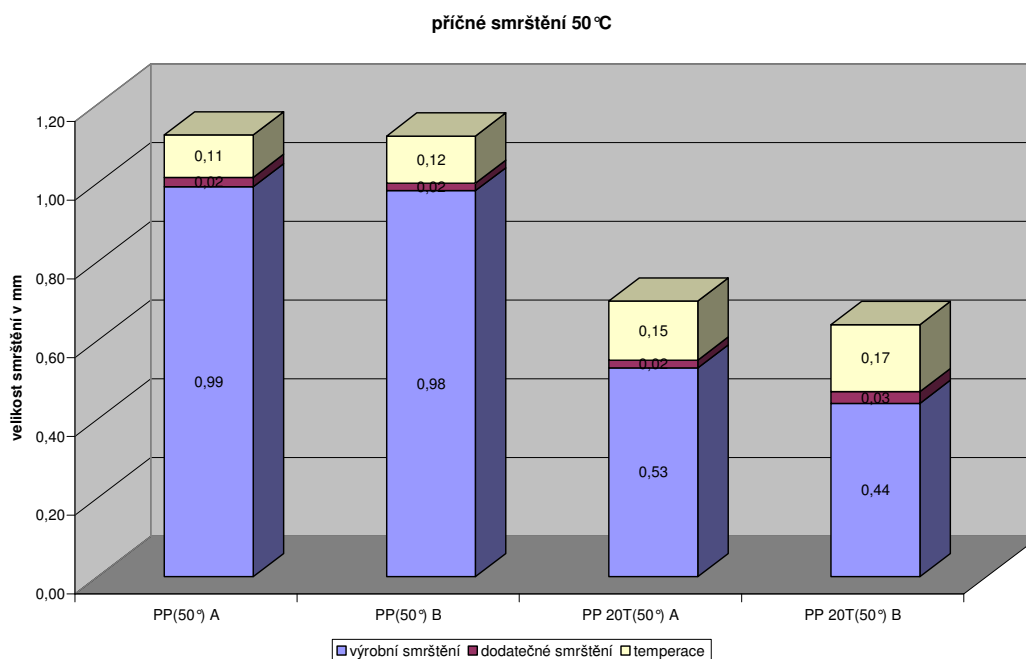


Obr. 3.15 Poměr výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 40°C

Tab. 3.11 Velikost výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 40°C

Příčné smrštění 40 °C	Výrobní smrštění [mm]	Dodatečné smrštění [mm]	Smrštění po temperaci [mm]
dutina A (PP)	0,98±0,02	0,03±0,02	0,11±0,02
dutina B (PP)	0,97±0,02	0,03±0,02	0,12±0,02
dutina A (PP 20T)	0,53±0,02	0,03±0,01	0,16±0,01
dutina B (PP 20T)	0,43±0,01	0,04±0,02	0,17±0,02

### 3.5.4 Teplota vstřikovací formy 50 °C



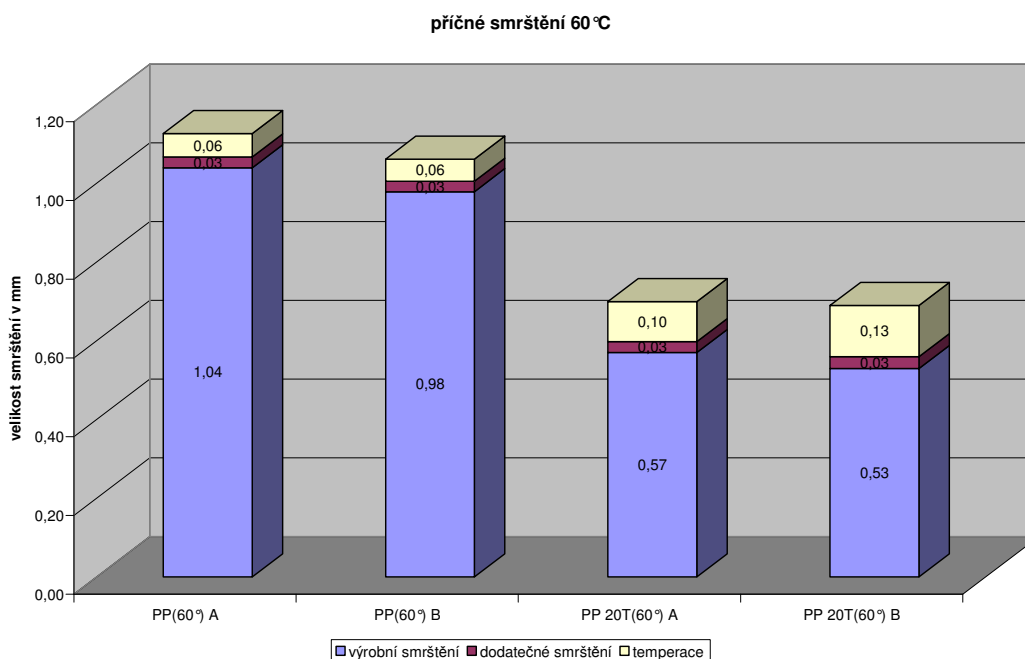
Obr. 3.16 Poměr výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 50 °C

Tab. 3.12 Velikost výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 50 °C

Příčné smrštění 50 °C	Výrobní smrštění [mm]	Dodatečné smrštění [mm]	Smrštění po temperaturaci [mm]
dutina A (PP)	0,99±0,02	0,02±0,01	0,11±0,02
dutina B (PP)	0,98±0,02	0,02±0,01	0,12±0,02
dutina A (PP 20T)	0,53±0,02	0,02±0,02	0,15±0,02
dutina B (PP 20T)	0,44±0,02	0,03±0,01	0,17±0,01



### 3.5.5 Teplota vstřikovací formy 60 °C



Obr. 3.17 Poměr výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 60 °C

Tab. 3.13 Velikost výrobního, dodatečného a temperačního smrštění výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 60 °C

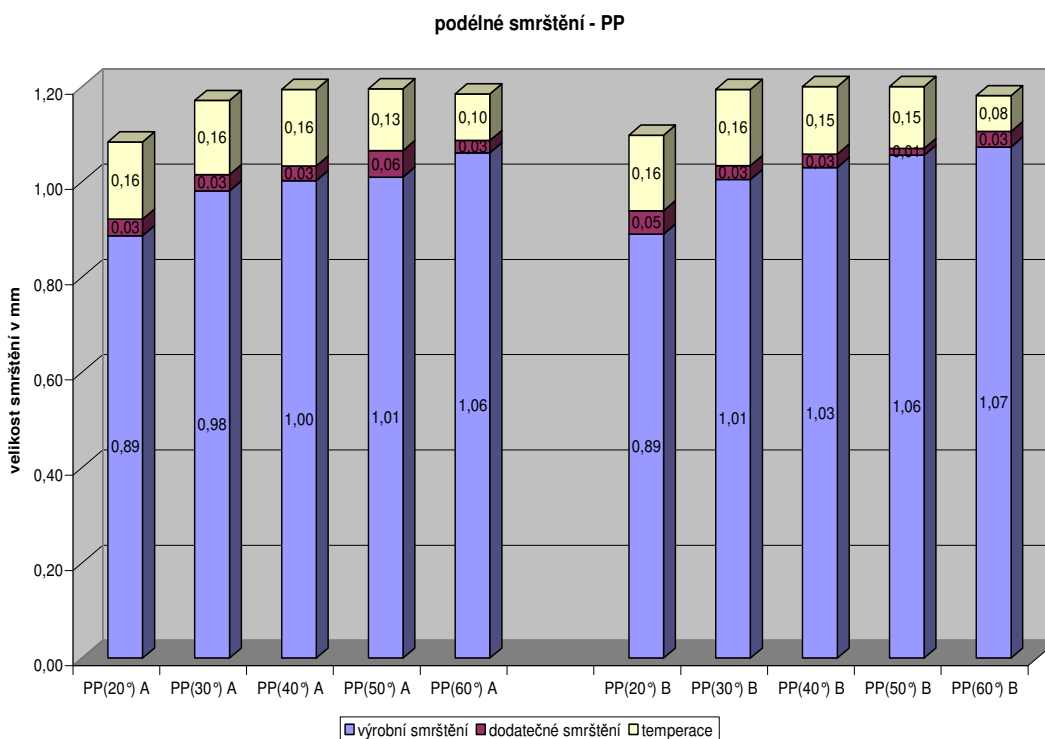
Příčné smrštění 60 °C	Výrobní smrštění [mm]	Dodatečné smrštění [mm]	Smrštění po temperaci [mm]
<b>dutina A (PP)</b>	1,04±0,02	0,03±0,02	0,06±0,02
<b>dutina B (PP)</b>	0,98±0,02	0,03±0,02	0,06±0,02
<b>dutina A (PP 20T)</b>	0,57±0,02	0,03±0,02	0,10±0,02
<b>dutina B (PP 20T)</b>	0,53±0,02	0,03±0,02	0,13±0,02

## 4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

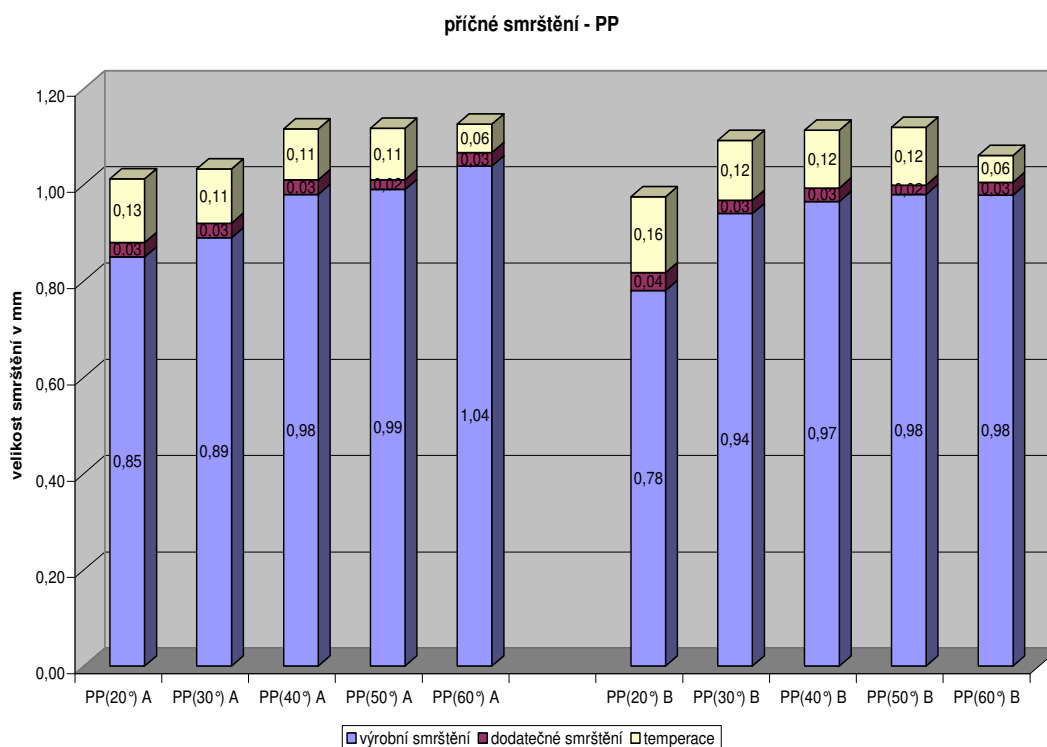
Pro lepší přehlednost je vyhodnocení výsledků výrobního, dodatečného smrštění a smrštění po temperaci výstřiků v závislosti na teplotě formy, resp. teplotě temperačního média provedeno jednotlivě pro dané materiály v kap. 4.1 a kap. 4.2. Zhodnocení vlivu obsahu talku (tedy porovnání obou hodnocených materiálů) je provedeno v kap. 4.3.

### 4.1 Vyhodnocení vlivu teploty formy na smrštění PP

Na obr. 4.1 a obr. 4.2 jsou znázorněny hodnoty výrobního, dodatečného smrštění a smrštění po temperaci z tvarových dutin formy A a B, měřené v podélném a příčném směru v závislosti na teplotě formy pro materiál ExxonMobil<sup>TM</sup> 1044 L1 (PP). Pro vzájemné porovnání jsou vedle sebe umístěny hodnoty smrštění výstřiku z dutiny A a B tak, aby byla patrná změna velikosti smrštění.



Obr. 4.1 Poměr výrobního, dodatečného smrštění a smrštění po temperaci v podélném směru výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 20°C, 30°C, 40°C, 50°C a 60°C



Obr. 4.2 Poměr výrobního, dodatečného smrštění a smrštění po temperaci v příčném směru výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 20°C, 30°C, 40°C, 50°C a 60°C

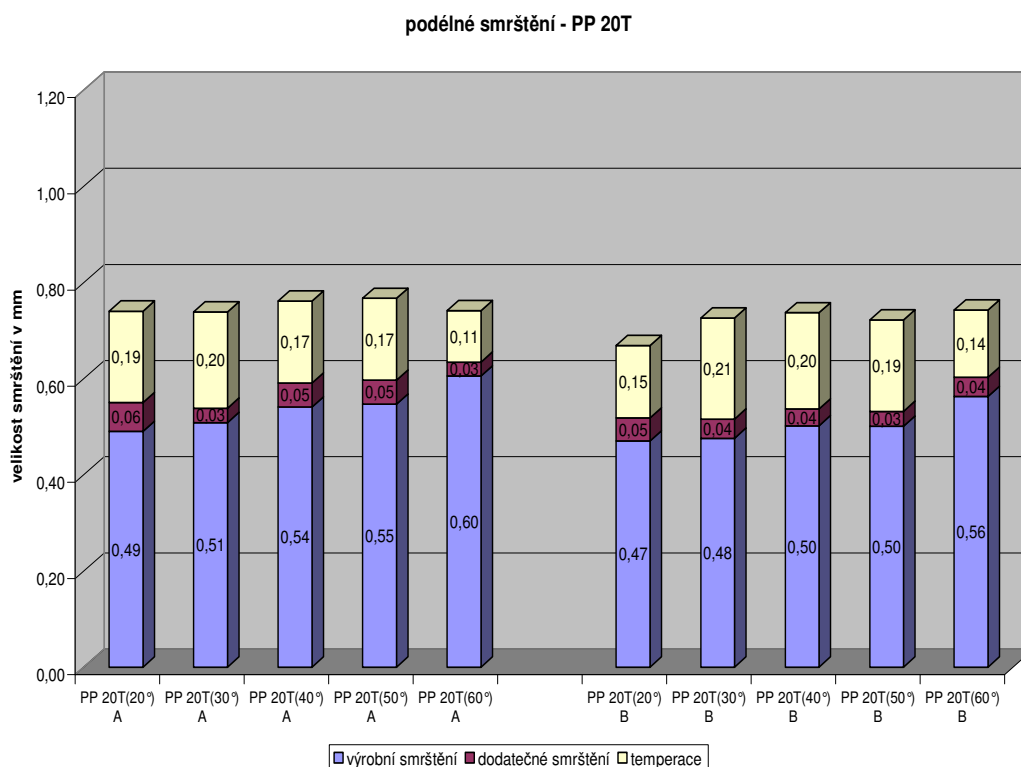
Z naměřených výsledků a výše uvedených grafických závislostí jsou pro výstřiky z materiálu ExxonMobil™ 1044 L1 (PP) patrné následující souvislosti:

- se zvyšující se teplotou formy, resp. teplotou temperačního média roste výrobní smrštění výstřiku u obou směrů (podélném a příčném), což odpovídá teoretickým předpokladům. Největší změny výrobního smrštění v podélném směru je dosaženo při změně teploty temperace z 20°C na teplotu vyšší u obou tvarových dutin A a B, ve směru příčném pak při změně teploty temperace z 30°C na vyšší teplotu v dutině A, resp. z 20°C na 30°C v tvarové dutině B,
- velikost smrštění výstřiků v podélném směru tečení taveniny je větší, než ve směru příčném, což potvrzuje teoretické předpoklady související s orientací makromolekul při plnění a tuhnutí taveniny v dutině formy,
- velikost dodatečného smrštění výstřiků (po 240 hodinách od výroby) se s ohledem na rozptyl naměřených hodnot nemění se zvyšující se teplotou formy, resp. teplotou temperačního média temperačního systému formy,
- nejmenších hodnot smrštění výstřiků po temperaci, resp. tepelné zátěži výstřiků (100°C po dobu 24 hod.) bylo naměřeno u výstřiků (v podélném i příčném

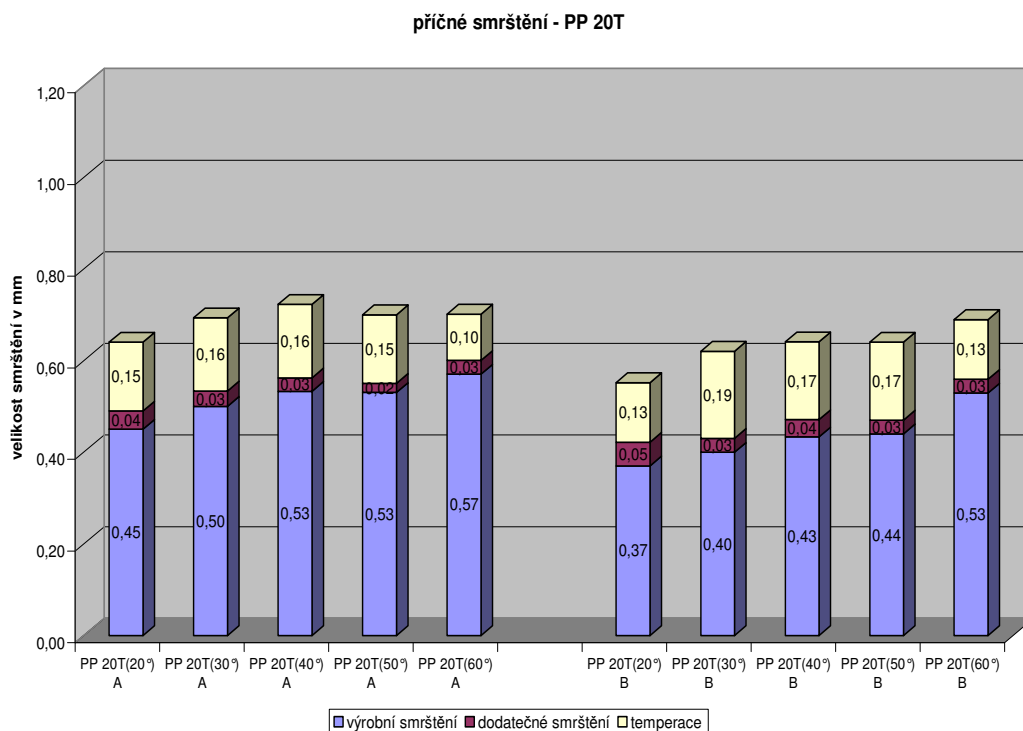
směru) při teplotě temperace formy, resp. teplotě média 60°C. Na základě rešeršních poznatků je zřejmé, že při vyšší teplotě temperace formy je u semikrystalických výstřiků dosaženo vyšší míry uspořádanosti makromolekul na nadmolekulární úrovni, čímž lze předpokládat, že u takovýchto výstřiků vystavených následnému tepelnému zatížení nedojde tak k velké dokrystalizaci, jako u výstřiků při nižší teplotě temperace a rovněž hodnota dodatečného smrštění po tepelném zatížení bude menší.

## 4.2 Vyhodnocení vlivu teploty formy na smrštění PP 20T

Na obr. 4.3 a obr. 4.4 jsou znázorněny hodnoty výrobního, dodatečného smrštění a smrštění po temperaci z tvarových dutin formy A a B, měřené v podélném a příčném směru v závislosti na teplotě formy pro materiál Exxtral HMU 234 (PP20T). Pro vzájemné porovnání jsou vedle sebe umístěny hodnoty smrštění výstřiku z dutiny A a B tak, aby byla patrná změna velikosti smrštění.



Obr. 4.3 Poměr výrobního, dodatečného smrštění a smrštění po temperaci v podélném směru výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 20°C, 30°C, 40°C, 50°C a 60°C



Obr. 4.4 Poměr výrobního, dodatečného smrštění a smrštění po temperaci v příčném směru výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 20°C, 30°C, 40°C, 50°C a 60°C

Z naměřených výsledků a výše uvedených grafických závislostí jsou pro výstřiky z materiálu Exxtral HMU 234 (PP20T) patrné následující souvislosti:

- se zvyšující se teplotou formy, resp. teplotou temperačního média roste výrobní smrštění výstřiku u obou směrů (podélném a příčném), avšak výrazně méně, než u polypropylenu bez talku. Smrštění ve směru podélném je větší, než ve směru kolmém v důsledku orientace makromolekul,
- velikost dodatečného smrštění výstřiků (po 240 hodinách od výroby) s ohledem na rozptyl naměřených hodnot nevykazuje výrazné změny v závislosti na teplotě temperace,
- nejmenších hodnot smrštění výstřiků po temperaci, resp. tepelné zátěži výstřiků (100°C po dobu 24 hod.) bylo naměřeno rovněž u výstřiků (v podélném i příčném směru) při teplotě temperace formy, resp. tepelnosného média 60°C.

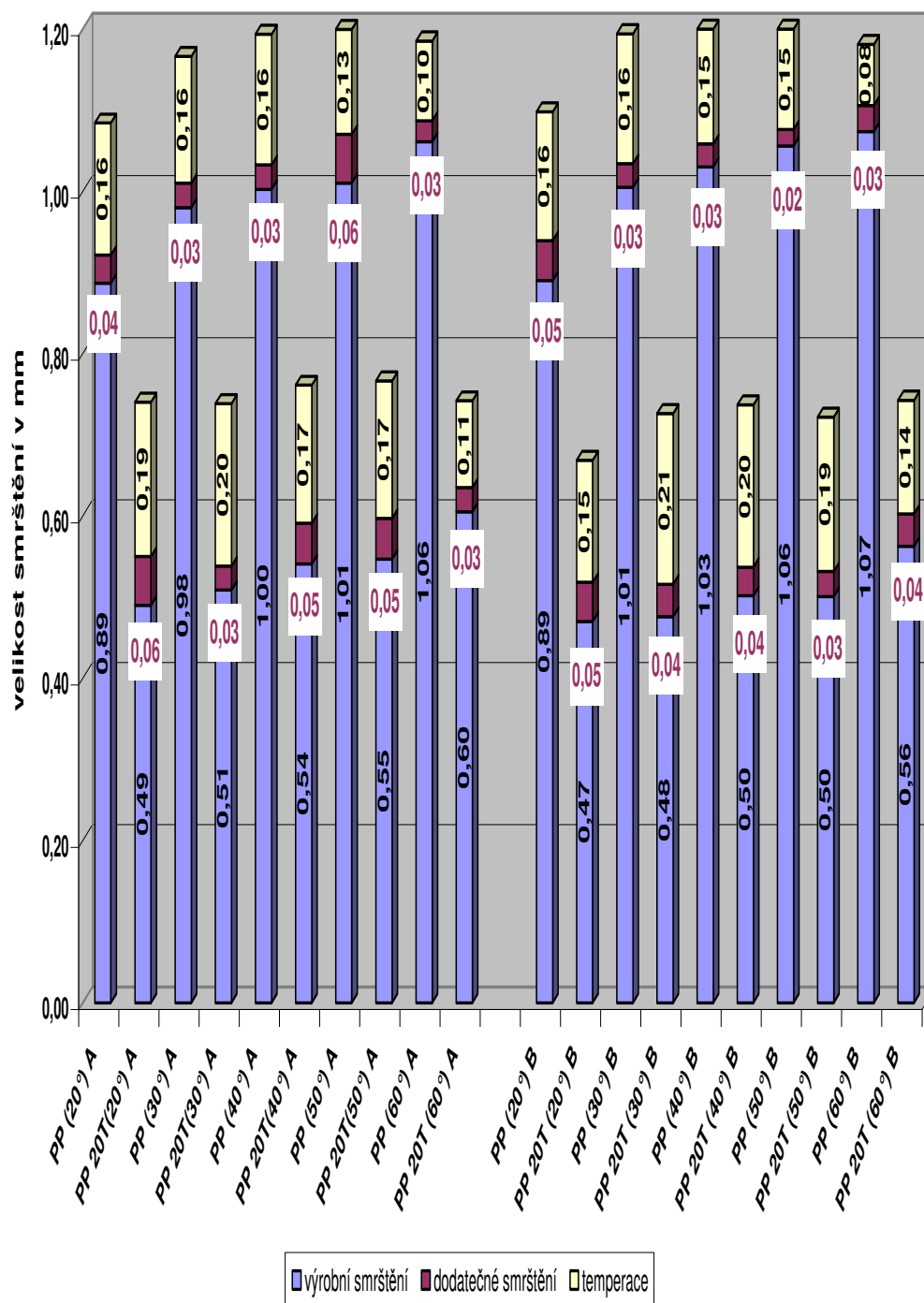
### 4.3 Porovnání obou zkoušených materiálů

Na obr. 4.5 a obr. 4.6 je provedeno vzájemné grafické zhodnocení smrštění výstřiků z materiálů PP a PP20T a to ze shodných tvarových dutin vstřikovací formy (A a B) v podélném (viz obr. 4.5) a v příčném směru (viz obr. 4.6).

Z naměřených výsledků a výše uvedených grafických závislostí lze pro hodnocené materiály konstatovat následující:

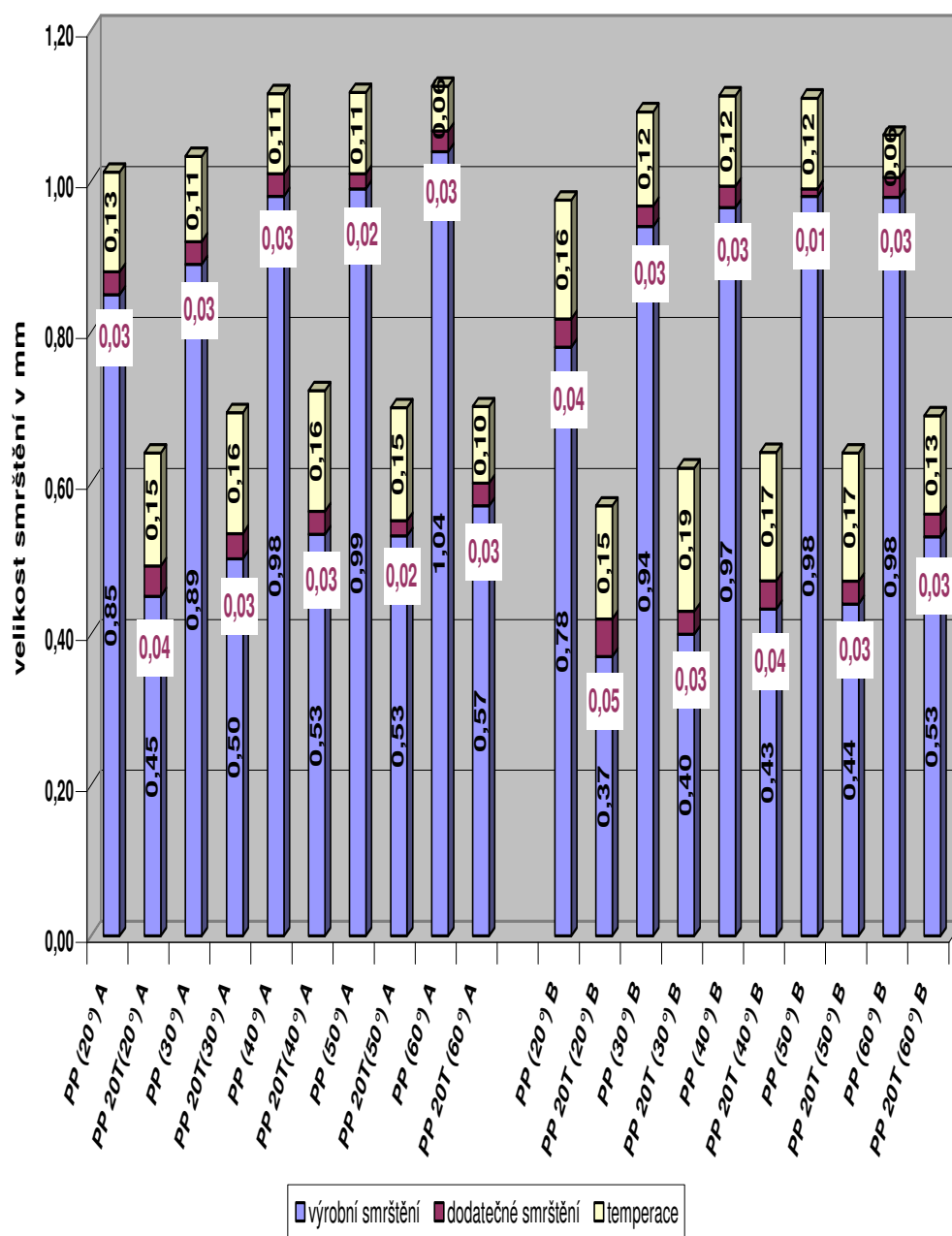
- velikost výrobního smrštění, resp. celkového smrštění je u polypropylenu plněného talkem (PP20T) znatelně nižší, v závislosti na teplotě temperace formy a směru tečení taveniny až ca. o 53% pro podélný směr a 56% pro příčný směr,
- velikost dodatečného smrštění, resp. smrštění výstřiků po tepelné zátěži je u obou materiálů vždy nejnižší v případě, kdy teplota teplonosného média byla na nejvýše nastavené hodnotě 60°C.

### Podélné smrštění



Obr. 4.5 Poměr PP a PP 20T výrobního, dodatečného smrštění a smrštění po temperaci v podélném směru měření výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 20°C, 30°C, 40°C, 50°C a 60°C

### Příčné smrštění



Obr. 4.6 Poměr PP a PP 20T výrobního, dodatečného smrštění a smrštění po temperaci v příčném směru měření výstřiků z dutiny A a B při teplotě formy 20°C, 30°C, 40°C, 50°C a 60°C



## **5 ZÁVĚR**

Předložená bakalářská práce je zaměřena na problematiku výrobního, dodatečného smrštění a smrštění výstřiků po tepelné zátěži vyráběných z polypropylenu bez obsahu talku a s obsahem talku v množství 20 % v závislosti na teplotě temperace vstřikovací formy. Smrštění výstřiků bylo posuzováno na výstřicích tvaru desky o rozměrech 50 x 50 mm a tloušťce stěny 3 mm. Měření rozměrů vyrobených dílů bylo provedeno v souladu s normou ČSN EN ISO 294- 4.

V teoretické části byly popsány základní vlastnosti a uplatnění polypropylenu, jakož i význam talku, který patří mezi nejčastější minerální plniva v polypropylenu. V teoretické části se dále bakalářská práce zabývá smrštěním výstřiků a vlastní podstatou vstřikování.

V experimentální části bakalářské práce bylo v souladu se zadáním provedeno na základě požadavku firmy Valeo Autoklimatizace Rakovník hodnocení smrštění výstřiků (výrobní, dodatečné a po následné tepelné zátěži) z polypropylenů ExxonMobil<sup>MT</sup> 1044 L1 (bez talku) a Exxtral HMU 234 (s 20% talku), jež je používán k výrobě dílů klimatizačních jednotek automobilů. Velikost smrštění byla s ohledem na anizotropii vlastností výstřiků (v důsledku orientace makromolekul) hodnocena v podélném i v příčném směru. Z výsledků experimentálních měření lze konstatovat, že se zvyšující se teplotou temperace formy roste velikost výrobního smrštění, ale snižuje se velikost dodatečného smrštění, především smrštění po následné tepelné zátěži výstřiků, v podélném i příčném směru, což souvisí s utvářením nadmolekulární struktury plastů a průběhem sekundární krystalizace. Velikost výrobního smrštění a tím i velikost celkového smrštění výstřiků je nižší u polypropylenu plněného talkem, v závislosti na teplotě temperace formy a směru tečení taveniny až ca. o 53%.

Je zřejmé, že doba výrobního cyklu je pro hospodárnost a ekonomičnost výroby velmi důležitá. V procesu vstřikování termoplastů je rozhodujícím faktorem pro dobu cyklu doba chlazení výstřiku ve formě. S nižší teplotou formy je doba chlazení výstřiku kratší, avšak kvalita výstřiku, t.j. jeho fyzikální a mechanické vlastnosti, ale také rozměrová a tvarová přesnost výstřiku, je horší. Z výše uvedených výsledků je zřejmé, že pro lepší rozměrovou a tvarovou přesnost výstřiku je výhodné přidávat do polypropylenu talek, jež dle rešeršních poznatků rovněž příznivě



ovlivňuje pevnost a tuhost dílců v důsledku utváření jejich morfologické struktury. Avšak i u takovýchto polypropylenů i nadále platí, že nižšího dodatečného smrštění po tepelném zatížení (v důsledku sekundární krystalizace) je dosahováno u výstřiků temperovaných ve formě při vyšších teplotách temperace.



## **6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KREBS, J.: Teorie zpracování nekovových materiálů. Liberec: TU v Liberci, 2001.
- [2] LAPČÍK, L.: Nauka o materiálech. Zlín: Universita Tomáše Bati ve Zlíně, 2001.
- [3] [www.ksp.tul.cz](http://www.ksp.tul.cz), září 2007
- [4] KREBS, J.: Teorie zpracování nekovových materiálů část 1, zpracování plastů. Liberec: TU v Liberci, 1991.
- [5] [www.moldmasters.de](http://www.moldmasters.de), září 2007
- [6] LENFELD, P.: Technologie II. část 2, zpracování plastů: Liberec: TU v Liberci, 2005.
- [7] [www.elmhurst.edu](http://www.elmhurst.edu), září 2007
- [8] PLUHAŘ, J. A KOL.: Nauka o materiálech. Praha: SNTL v Praze, 1989.
- [9] HISEM, P.: Vliv podmínek vstřikování na smrštění výstřiků z termoplastů. Liberec: TU v Liberci, disertační práce, 2003.
- [10] [www.luzenac.com](http://www.luzenac.com), září 2007
- [11] [www.koltex.cz](http://www.koltex.cz), září 2007
- [12] [www.techcorp.cz](http://www.techcorp.cz), září 2007
- [13] [www.mindat.org](http://www.mindat.org), září 2007
- [14] [www.custompartnet.com](http://www.custompartnet.com), září 2007
- [15] KREBS, J.: Teorie a technologie zpracování plastů. Liberec: TU v Liberci, 1981.
- [16] ŠAFAŘÍK, M.: Nástroje pro tváření kovů a plastů I. Liberec: TU v Liberci, 1987.
- [17] HORÁK, M.: Vliv doby chlazení na smrštění výstřiku klimatizační jednotky vozu Audi A4 z PP v závislosti na teplotě temperačního média. Liberec: TU v Liberci, bakalářská práce, 2007.
- [18] SIERATOVSKI, J.: Vliv teploty formy na smrštění výstřiku klimatizační jednotky z polypropylénu vozu Audi A4. Liberec: TU v Liberci, bakalářská práce, 2007.
- [19] Materiálové listy firmy ExxonMobil Chemical
- [20] ČSN EN ISO 294-4.



## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 4.1.2008

Podpis:



## **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 4.1.2008

Signature: